

鲁西气候变化及其对地表水分盈亏的影响

李又君, 吕博, 安丽华, 郭芳

(山东聊城市气象局, 山东 聊城 252000)

摘要:地面蒸发量、气温和降水是估算水资源各分量的重要物理量。利用山东聊城地区8个国家气象观测站1962~2011年的月平均气温及月降水资料,分析了聊城地区气温、降水的变化特征,用高桥浩一郎的陆面蒸发经验公式估算了蒸发量,并分析计算了相应的降蒸差及其演变特征。结果显示:自1990年发生由冷到暖的突变以来,当地气温呈上升趋势,线性倾向值为 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$;降水量、蒸发量和降蒸差季节分布和逐月分布一致,1月最小,7月最大。夏季降水最为丰富,秋季次之,春季和冬季最少;降水量和降蒸差的年际间变幅很大(降水距平值范围为 $-250.2\sim 354.3\text{ mm}$),且呈减少趋势,蒸发量变幅没有降水量变幅大(蒸发距平值范围为 $-138.8\sim 119.2\text{ mm}$),且年际间相对稳定;未来本地区旱涝问题依然存在,水资源短缺的形势依然严峻。

关键词:气温;蒸发;降水;降蒸差

中图分类号:P468.1

文献标识码:A

引言

全球气候变化是人类迄今面临的最大的环境问题之一,已成为国内外的研究热点。据研究^[1-2],近50 a全球气温线性增暖速率($0.13\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)几乎是近100 a来的2倍,中国增温尤其明显。近25 a全国平均温度有明显的上升趋势,只有极少数测站有明显的降温趋势,华北及东北的广大地区是增温最快、范围最大的地区。全国增温明显的台站主要集中在北方大部分地区^[3],华北地区平均每10 a增温达 $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[4]。廉丽姝等^[5]研究指出,山东省近41 a平均气温每10 a增温 $0.24\text{ }^{\circ}\text{C}$,年降水量为每10 a减少 83.4 mm 。农业由于受到气候变化的直接影响,相关研究也比较多^[6-13],这些研究成果为制定相应措施提供了科学的依据。

水资源对全球气候变化的响应十分明显^[14]。自然降水是水资源的主要补给来源,但并不是全部可利用的水资源,相当一部分要以蒸发的形式回到大气中,其余部分才能形成地面径流,或补充地下水。由于蒸发的水分进入大气后难以利用,降水中只有减去蒸发后的部分才是可以利用的降水,所以蒸发的估算十分重要。从估算地面蒸发的物理角度

考虑,影响地面蒸发的因子及过程十分复杂,气象条件(降水、气温、湿度、风和辐射等)、土壤状况及地表植被等都能影响地面蒸散量,但实际蒸发又受多种条件的限制,不是直接观测的物理量而难以估算,所以人们发展了不少估算方法,但很多方法都需要较多的甚至很特殊的资料(如地表热量平衡法),计算比较复杂,使得经验公式方法得到很好发展,如高桥浩一郎公式^[15]仅用月平均降水量和月平均气温对蒸发进行估算,方法比较简便,许多研究人员用该方法估算实际蒸发,并得到了较好的结果^[16-21]。

由于气候变化特征有很强的地域性,在全球变暖的大背景下,受自然、经济、地理、社会发展等因素的影响,各地气候变化特征并不完全相同。水资源作为农业生产不可或缺的因素,对维持粮食稳产、增产有非常重要的作用。聊城市位于华北干旱地区,人均占有水资源量 207 m^3 ,为山东省人均占有量的59%,全国人均占有量的8%,是全国严重缺水的城市之一。随着本地区经济的快速发展、城市化进程的加快和人口不断增加,水资源的供求矛盾将更加突出。本文拟运用高桥浩一郎陆面蒸发估算公式估算近50 a历年的蒸发量并进一步研究降蒸差及相关的气温和降水的变化特征,以期更好地为开发、调

收稿日期:2012-03-13;改回日期:2012-05-23

作者简介:李又君(1963-),男,山东聊城人,学士,工程师,主要从事综合气象观测及气候资源利用研究. E-mail: lcsqxj@126.com

节和利用水资源提供科学依据。

1 资料和方法

利用地处鲁西的聊城地区气象观测资料序列最完整的8个气象台站1962~2011年的月、年平均气温及月、年降水量资料(考虑到站点分布较均匀,8站资料采用算术平均),通过距平值、趋势系数分析年降水与年平均气温的变化特点,利用Mann-Kendall方法进行突变检测,该方法是由世界气象组织(WMO)推荐的应用与环境数据时间序列趋势分析的有效方法^[22],已经得到比较广泛的应用,该方法可以从观测资料的时间序列中精确地确定达到信度要求的突变开始时间,是一种较客观定量的方法。用高桥浩一郎陆面蒸发计算公式计算并分析聊城地区各月、季、年降水资源的变化趋势。高桥浩一郎陆面蒸发计算公式:

$$E = \frac{3100R}{3100 + 1.8R^2 \exp\left(-\frac{34.4T}{235 + T}\right)}$$

式中, R 为月降水总量(mm), T 为地面月平均气温($^{\circ}\text{C}$), E 为月蒸发总量(mm)。由于现行20cm口径蒸发皿观测值受风速影响较大,加之因其自身受热在一定程度上加大了晴天状态下的蒸发量,因此误差较大,而该公式在物理上考虑2个影响蒸发的最主要物理因子,并用实际观测资料作依据,反映出的蒸发特征与干旱半干旱地区实际状况相吻合^[16],因此,适宜于该地区计算蒸发量时应用。

从气象角度,以降水(R)和自然蒸发(E)之差($R - E$)即降蒸差为指标评价当地水分盈亏(W)的多少^[23],暂不考虑径流量的变化。如果 $R - E$ 值很大,说明局地水资源丰盛,反之则缺乏。

气温是影响蒸发的一个重要因素,在高桥浩一郎公式中也是一个非常重要的参数,为了更好地反映蒸发的变化,对研究区的年平均温度也进行有关分析。

2 结果与分析

2.1 降水量变化

2.1.1 在计算聊城地区年降水距平的基础上,分析各年代际平均降水量的变化特征,并用5a平滑曲线滤掉高频分量,用9a平滑滤掉年际振荡,观察其年代变化规律^[24]。由图1可见,聊城地区的年降

水量1960年代、1970年代(距平值分别为16.3mm、44.3mm),均比1980年代(距平值为-33.3mm)、1990年代(距平值为-18.3mm)、2000年代(距平值为-14.6mm)多,表现出1980年代以来降水量减少但趋势减缓。5a平滑曲线与9a平滑曲线均表现出波动变化特点。全序列年降水量的变化趋势不明显($r = 0.1042, p = 0.4715 > 0.05$,没有通过0.05水平的显著性检验)。

在分析期内,年降水量年际间变化幅度较大。最大年降水量出现在1964年(917.2mm),降水距平值为354.3mm,最小降水量出现在1992年(312.7mm),降水距平值为-250.2mm。

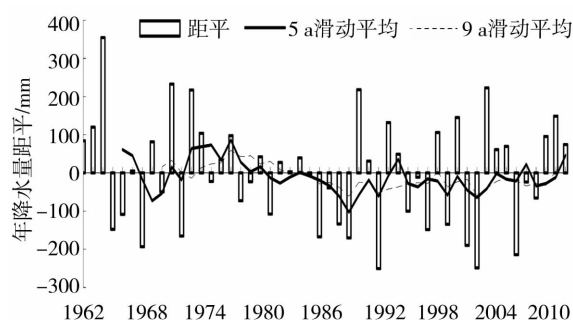


图1 1962~2011年聊城地区年降水量距平

Fig. 1 The yearly precipitation anomaly in Liaocheng area during 1962 - 2011

2.1.2 突变检测

使用Mann-Kendall非参数检验方法,检测1962~2011年聊城地区年降水量序列的突变,给定显著水平 $\alpha = 0.05$ ($U_{\alpha} = \pm 1.96$)。由图2中顺序统计曲线(UF实线)可以看出,1964~1968、1977~1989年间降水量呈下降趋势。1989年下降趋势达0.05显著性水平的临界线,说明这一时期降水减

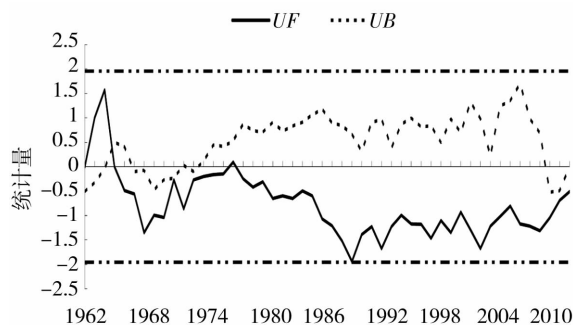


图2 近50a聊城地区年降水量的Mann-Kendall突变检验

Fig. 2 The Mann-Kendall test of yearly precipitation in Liaocheng area in recent 50 years

少的趋势显著。顺序列统计曲线与逆序列统计曲线(UB虚线)交点的位置在1964/1965年,但由于交叉点在0线附近,UF线未超过信度线,说明降水量虽出现减少趋势但并不十分显著。

2.2 气温变化

2.2.1 距平变化

图3为聊城地区年平均气温距平及其线性趋势。可以看出,在全球变暖的大背景下,近50a聊城地区年平均气温呈上升趋势,线性倾向值为 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ($r=0.4981$,通过 $\alpha=0.01$ 显著检验),略小于山东全省 $0.24\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的变暖速度^[5]。显著变暖时间大约在1994年以后,显著变暖前与变暖后平均气温距平的平均值分别为 $-0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($|u|=7.0 > u_{0.01}=2.98$,说明变暖前后2组均值有极显著的差异),从统计意义上也能说明聊城地区年平均气温在1990年代前期开始出现剧烈的升高变化,增暖后时段的距平年平均值比增暖前高 $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,全系列中气温最高年平均温度是1998年的 $14.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,气温最低年平均温度是1969年的 $12.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

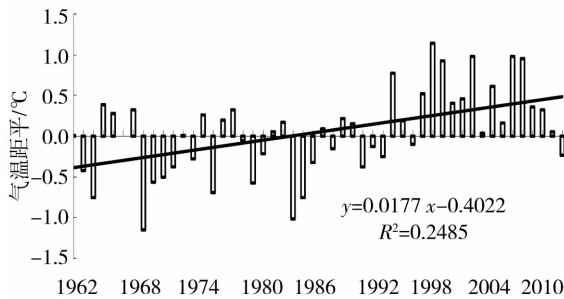


图3 1962~2011年聊城地区年平均气温距平
Fig. 3 The annual mean temperature anomaly in Liaocheng area during 1962-2011

2.2.2 突变检测

给定显著性水平为0.05,置信区间 $[-1.96, +1.96]$,对年平均气温进行Mann-Kendall突变检测表明:该地区年平均气温在1964年左右为温度较低区,但是没有发生突变,之前年均气温由高降低,之后气温波动升高;1989/1990年度发生了由冷到暖的突变(M-K突变检验反映的是趋势特征),见图4。从突变年开始,气温明显升高并得以持续,时间区域为1989~2010年,突变后的年平均气温比突变前升高了 $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1989~2010年的平均值减去1962~1988年的平均值)。最近10a的变化特点及趋势与IPCC第4次评估报告中关于全球气温变化的趋势相同^[25-26]。

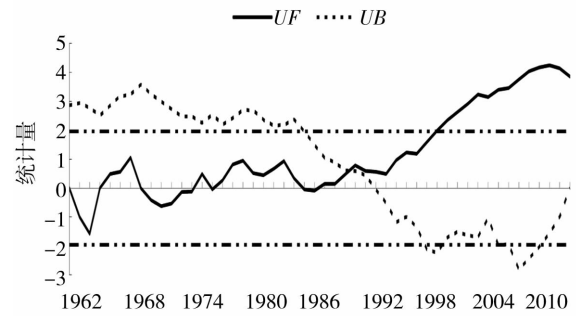


图4 1962~2011年聊城地区年平均气温的Mann-Kendall突变检验

Fig. 4 The Mann-Kendall test of annual mean temperature in Liaocheng area during 1962-2011

2.3 蒸发量变化

2.3.1 距平变化

为了研究长时间序列年蒸发量的变化情况,在计算聊城地区年蒸发距平值的基础上,分析各年平均蒸发量的变化特征。由图5可见,聊城地区年蒸发量多波动变化,蒸发距平最小的前3位为1988年、1992年、2002年,蒸发距平分别为 -138.8 mm 、 -131.3 mm 、 -124.5 mm ,蒸发距平值最大的前3位为1964年、1990年、2003年,蒸发距平值分别为 117.3 mm 、 119.2 mm 、 102.4 mm 。

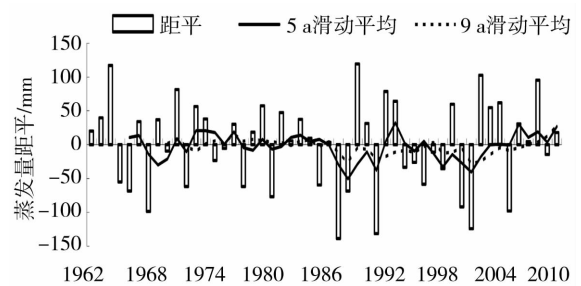


图5 1962~2006年聊城地区蒸发量距平
Fig. 5 The annual evaporation anomaly in Liaocheng area during 1962-2006

2.3.2 突变检测

给定显著性水平为0.05,置信区间 $[-1.96, +1.96]$,对年蒸发距平值进行Mann-Kendall突变检测表明:该地区年蒸发量在1964/1965年前后有交点,但由于交叉点在0线附近,UF线未超过信度线,说明蒸发量虽出现减少趋势但并不十分显著,见图6。

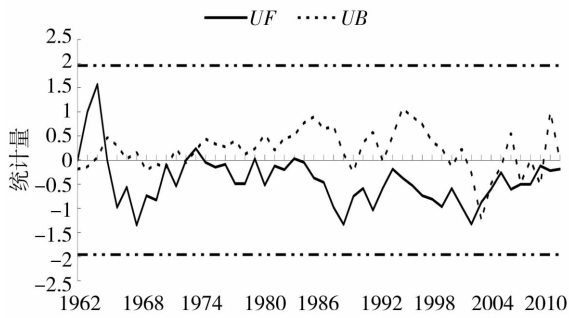


图6 1962~2011年聊城地区蒸发量的Mann-Kendall 突变检验

Fig.6 The Mann-Kendall test of annual evaporation in Liaocheng area during 1962-2011

2.4 降蒸差变化

2.4.1 月、季特征

从50 a 逐月平均的 R 、 E 及 W 来看(图7),年内降水量、蒸发量和降蒸差的逐月变化趋势基本相同,但月间分布极不均衡,呈现7月为最大值的近似抛物线的线型分布,降水量、蒸发量最大的均为7月,且蒸发量超过降蒸差值,说明蒸发的变化幅度较降蒸差的变化幅度大。7月份的 R 、 E 及 W 分别占全年的28.7%、25.1%和38.3%,而最小月(1月)的 R 、 E 及 W 分别仅占全年的0.73%、0.85%和0.39%。当地水资源在不同季节的变化特点也不相同。夏季降水(353.5 mm)占全年降水(562.9 mm)的比例达62.8%,但蒸发量所占全年比例没有降水量比例大,为59.0%,降蒸差所占比例大大超过蒸发量和降水量所占的全年比例,达到73.2%。春季和秋季、冬季降水总和只占全年降水的37.2%,蒸

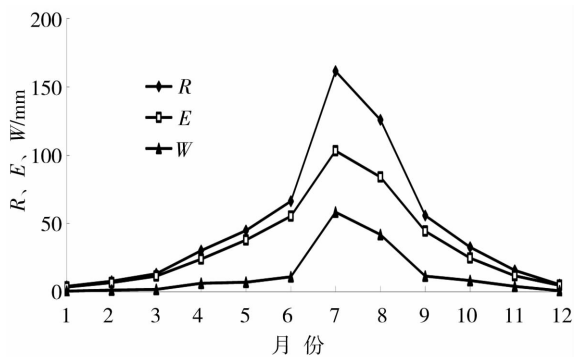


图7 1962~2011年聊城地区逐月降水量(R)、蒸发量(E)、降蒸差(W)分布

Fig.7 The monthly distribution of precipitation(R), evaporation(E), difference between rainfall and evaporation(W) in Liaocheng area during 1962-2011

发量总和占全年蒸发的41.0%,降蒸差总和只占全年的26.8%。从另一个角度也解释了当地年内冬、春、秋季节干旱的实际情况,影响作物尤其是旱作冬小麦的正常生长和发育(图8)。综合月、季情况来看, R 、 E 、 W 的月、季节变化顺序是相似的,1月最小(分别为4.1 mm、3.5 mm和0.6 mm),7月最大(分别为161.3 mm、103.0 mm和58.3 mm);夏季最大,春秋次之,冬季最小。降水量的大小决定降蒸差的大小,夏季降水最多但不均衡,全年降水、蒸发和降蒸差都是7~8月最大。

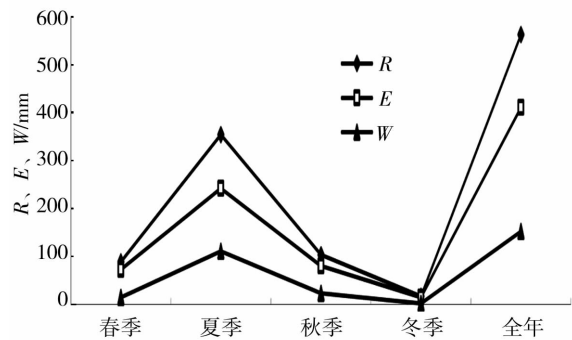


图8 1962~2011年聊城地区四季降水量(R)、蒸发量(E)、降蒸差(W)分布

Fig.8 The seasonal distribution of precipitation(R), evaporation(E), difference between rainfall and evaporation(W) in Liaocheng area during 1962-2011

2.4.2 年际变化

由图9可见,聊城地区全年降水量总体上呈现减少趋势,趋势系数为-0.1042,年际间变化很大,但趋势变化没有通过统计检验,这与山东省的下降趋势基本一致^[6]。序列降水在917.2 mm(1964年)到312.7 mm(1992年)之间,变幅高达604.5 mm。1964年为异常多雨年,年降水量均超过900 mm。1980年代、1990年代和2000年代降水距平分别为-33.3、-18.3、-14.6 mm。

年蒸发量在272.0~530.0 mm间波动,变幅为258.0 mm,没有年降水量变幅大,趋势系数为-0.0240,总体上呈现减少趋势,系列变化趋势平缓。蒸发最多的是1990年(530.0 mm),不是降水最少的一年,也不是气温最高的一年(1998年最高14.4℃)。

年蒸降差在28.4~389.1 mm间波动,变幅为360.7 mm,蒸降差最少的一年(2002年28.4 mm),对应的年降水量314.7 mm也较少。年蒸降差序列趋势系数为-0.1518,总体上呈现减少趋势。水资源整体上呈减少趋势。

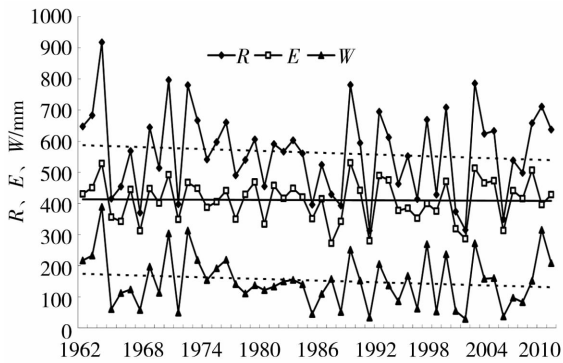


图9 1962~2011年聊城地区
水资源各分量年际变化

Fig. 9 The annual variation of precipitation (R),
evaporation (E), difference between rainfall and
evaporation (W) in Liaocheng area during 1962 - 2011

3 结论与讨论

(1)聊城地区年际降水量的气候分布特点突出表现为,年际变化大,季节性分配极不均匀,同时表现出4季降水分布鲜明的周期性特点,年降水量在1980年代、1990年代和2000年代呈下降趋势,但1980年代以来降水量减少的趋势减缓。全序列降水值没有通过0.05水平的显著性检验。Mann - Kendall 突变分析(UF变化曲线)表明近年来降水多波动变化,未来变化不确定性大。

(2)在全球气候变暖的背景下,Mann - Kendall 突变分析(UF变化曲线)表明1994年来气温升高明显,未来有继续升高的趋势,可能与全球变暖趋势同步[28]。根据高桥浩一郎的陆面蒸发估算公式,温度升高但降水不变或减少的情况下,蒸发必然加大。因此,研究区在降水本身不多且年际间变化幅度较大情况下,尤其是降水偏少年份,未来高温将加重蒸发,有可能加重旱情和干旱趋势,未来本地区农作物种植的节水任务和抗旱任务依然艰巨。

(3)序列蒸发量变化趋势不明显,趋势系数仅为-0.0240;蒸发量变化趋势与降水分布特征基本相同,受年降水量的直接影响,年降水量最少年份和水资源最少的一年基本相对应。

(4)水资源各分量 R 、 E 和 W 年内分布特征明显,年内3个分量逐月变化趋势基本相同,但月间分布极不平衡,呈现7月为最大值的近似抛物线分布,7月份的 R 、 E 及 W 分别占全年的28.7%、25.1%和38.3%,而最小月(1月)的 R 、 E 及 W 分别仅占全年的0.73%、0.85%和0.39%。3个分量季变化明

显,夏季各量最大,多年平均分别为353.5 mm、242.2 mm、111.3 mm,冬季各量最小,多年平均分别为17.2 mm、14.7 mm和2.4 mm,所占全年的比例也最小。由于夏季 W 占全年的比例达73.2%,降水量占全年的62.8%,使得夏季成为当地最易发生洪涝灾害的季节,春季成为最易发生干旱的季节。

参考文献:

- [1] 赵宗慈,王绍武,罗勇. IPCC 成立以来对温度升高的评估与预估[J]. 气候变化研究进展,2007,3(3):153-154.
- [2] 国家气候中心. 全球气候变化的最新科学事实和研究进展(IPCC 第一工作组第四次评估报告初步解读)[J]. 环境保护,2007,(11):27-30.
- [3] 任国玉. 地表气温变化研究的现状和问题[J]. 气象,2003,29(8):3-6.
- [4] 高歌,李维京. 华北地区气候变化对水资源的影响及2003年水资源预评估[J]. 气象,2003,29(8):22-25.
- [5] 廉丽妹,李为华,朱平盛. 山东省近40年气候变化特征[J]. 气象科技,2006,34(1):57-61.
- [6] 张智,林莉,梁培. 宁夏气候变化及其对农业生产的影响[J]. 中国农业气象,2008,29(4):402-405.
- [7] 谭方颖,王建林,宋迎波,等. 华北平原近45年农业气候资源变化特征分析[J]. 中国农业气象,2009,30(1):19-24.
- [8] 张建平,李永华,高阳华,等. 未来气候变化对重庆地区冬小麦产量的影响[J]. 中国农业气象,2007,28(3):268-270.
- [9] 马晓群,陈晓艺,姚摘. 安徽淮河流域各级降水时空变化及其对农业的影响[J]. 中国农业气象,2009,30(1):25-30.
- [10] 钱锦霞,赵桂香,李芬. 晋中市近40年气候变化特征及其对玉米生产的影响[J]. 中国农业气象,2006,27(2):125-129.
- [11] 张健,章新平,王晓云,等. 京津冀地区近47 a降水量的变化特征[J]. 干旱气象,2009,27(1):23-28.
- [12] 张强,张存杰,白虎志,等. 西北地区气候变化新动态及对干旱环境的影响[J]. 干旱气象,2010,28(1):1-7.
- [13] 巴金,王秀琴. 敦煌近56 a气候特征分析[J]. 干旱气象,2010,28(3):304-308.
- [14] 蓝永超,丁永建,刘进琪,等. 气候变暖情景下黑河流域水资源的变化[J]. 中国沙漠,2005,25(6):863-868.
- [15] 高桥浩一郎. 用月平均气温、月降水量估算蒸发量的经验公式[J]. 天气,1979,26(12):29-32.
- [16] 施雅风. 中国气候与海面变化及其趋势和影响——气候变化对西北华北水资源的影响[M]. 济南:山东科学技术出版社,1995. 147-150.
- [17] 陶云,赵荻,何华,等. 云南省大气中水资源分布特征初探[J]. 应用气象学报,2007,18(4):506-515.
- [18] 李国军,李晓媛,王振国,等. 黄河上游水源补给区气候变化及对水资源的影响[J]. 干旱气象,2007,25(2):68-69.
- [19] 陈慧娴,陈创买,林爱兰,等. 黄河中游气温变化趋势及其对蒸发能力的影响[J]. 水资源与水工程学报,2007,18(4):32-36.
- [20] 陈慧娴,陈创买,林爱兰. 广东春季水资源的时空分布特征和预

- 测研究[J]. 热带气象学报, 2007, 23(6): 601-610.
- [21] 刘昌明, 郑红星. 黄河流域水循环要素变化趋势分析[J]. 自然资源学报, 2003, 15(2): 129-135.
- [22] 魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999. 69-72.
- [23] 刘昌明, 郑红星. 黄河流域水循环要素变化趋势分析[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 129-135.
- [24] 缪驰远, 魏欣, 孙雷, 等. 嫩江、哈尔滨两地 48 年来夏季降雨量特征分析[J]. 资源科学, 2007, 29(6): 25-31.
- [25] IPCC 核心撰写组. 气候变化 2007 综合报告[EB/OL]. (2007-11-17)[2011-02-15]. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_cn.pdf.
- [26] 气候变化国家评估报告编写委员会. 气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2007. 156-157.

Climate Change and Its Effect on Gain or Loss of Surface Water in Western Shandong

LI Youjun, Lü Bo, AN Lihua, GUO Fang

(Liaocheng Meteorological Bureau of Shandong Province, Liaocheng 252000, China)

Abstract: Surface evaporation capacity, air temperature and precipitation were important physical parameters to estimate water resource. Variation of air temperature and precipitation was analyzed by using monthly precipitation and mean air temperature of 8 stations in Liaocheng from 1962 to 2011. Surface evaporation was estimated by Gaoqiao equation, and the difference between precipitation and evaporation was calculated too. The result showed that local temperature increased with the rate of 0.2°C/10 a since 1990, and the seasonal distribution of precipitation, evaporation and the difference between precipitation and evaporation was similar to the monthly distribution and was biggest in July and smallest in January. Local precipitation was sufficient in summer and least in winter. The inter-annual variation of precipitation and the difference between precipitation and evaporation was greater than that of evaporation, their anomaly range was 250.2-354.3 mm and 138.8-119.2 mm, respectively. In the future, as a question, drought and flood will still remain in Liaocheng area, the shortage of water resource will be still serious.

Key words: air temperature; evaporation; precipitation; difference between precipitation and evaporation

(上接第 425 页)

Changing Trend of Sandstorm and Its Influencing Factor in Recent 57 Years in Minqin of Gansu Province

ZHAO Mingrui^{1,2}, YANG Xiaoling³, TENG Shuichang⁴

- (1. Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction of CMA, Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China;
2. Minqin Meteorological Station of Gansu Province, Minqin 733300, China;
3. Wuwei Meteorological Bureau of Gansu Province, Wuwei 733099, China;
4. Yongchang Meteorological Station of Gansu Province, Yongchang 737200, China)

Abstract: Based on meteorological observation data from Minqin national reference climate station during 1954-2010, the changing trend and its influencing factor of sandstorm were analyzed by using linear regression and Mann-kendall test in recent 57 years in Minqin. The results show that sandstorm frequency and occurrence time had obvious daily variation, and there were monthly and seasonal difference. The annual and decadal variation of sandstorm days presented obvious change tendency, and appeared abrupt change in 1992. The intensity and harm of sandstorm presented increasing trend. The main factors affecting dust storm were gale days, wind speed, temperature and the natural environment in Minqin. Increase of precipitation and relative humidity would bate sandstorm occurrence in some extent. Human factors and local environment had a certain impact on dust storm occurrence and development.

Key words: Minqin; sandstorm; changing trend; influencing factor