

李景鑫,王式功,李艳,等. 西宁市蒸发量变化特征及影响因素[J]. 干旱气象, 2013, 31(3): 497-504, doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-03-0497

西宁市蒸发量变化特征及影响因素

李景鑫¹, 王式功¹, 李艳¹, 尚可政¹, 相栋²

(1. 兰州大学大气科学学院, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,
甘肃 兰州 730000; 2. 山西省气候中心, 山西 太原 030002)

摘要:利用西宁市1954~2005年地面气象观测数据蒸发量资料,分析西宁市蒸发量的变化趋势及其影响因子,并根据彭曼公式(Penman Formula)对蒸发量进行了回归分析。结果表明,西宁52 a蒸发量的年际变化、年代际变化、不同季节和月份的年代际变化均呈显著下降趋势。1960~1990年代,年蒸发量减少了377.98 mm,平均每年减少约27.2 mm,其中,1980年代减少的幅度最大,春季和夏季蒸发量显著减少,占年蒸发量减少总量的42%左右,6月的蒸发量下降最快。年际变化趋势符合格丁斯函数(Giddings function)拟合曲线。年内分配形式的年代际变化表明,在1960、1970年代年内分配较不均匀,集中程度较高,1970年代以后年内分配不均匀性减小。依据彭曼公式建立了二元回归方程,经过显著性检验,蒸发量与日照时数、饱和水汽压差的线性关系密切。影响蒸发量变化的因子主要有平均气温、日照时数、相对湿度等,夏季的降温和夏季、秋季日照时数的减少是蒸发量减少的主要原因,而日照时数的减少主要是总云量增加造成的。

关键词:蒸发量;格丁斯函数;影响因子;彭曼公式;回归分析

文章编号:1006-7639(2013)-03-0497-08 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-03-0497

中图分类号:P426.2+2

文献标识码:A

引言

近年来,全球性气候变化引起了人们的普遍关注,对影响气候状况的重要因子之一的蒸发量的研究也变得越来越重要。蒸发既是地表热量平衡的组成,也是水循环的重要组成部分,蒸发量的变化影响着全球降水以及气候的变化。因此,进行蒸发量变化的研究,对深入了解气候变化规律及探讨气候变化的原因是十分必要的^[1-5]。

近年来研究发现^[6-11],就中国平均而言,1960~2000年中国蒸发皿蒸发量呈明显下降趋势,各季蒸发量与年蒸发量变化趋势也基本一致^[12]。目前针对蒸发量影响因子的研究也日渐增多。吴初梅等^[13]研究发现蒸发量大小与气温、日照时数关系密切,而且蒸发量的季节变化与气温、日照时数等季节变化同步。刘敏等^[14]利用完全相关系数法分析表

明,气温日较差和平均风速的减小与蒸发皿蒸发量的减小具有显著的相关性。由此可见,气温、日照时数、气温日较差、平均风速等都对蒸发量的变化有着不同程度的影响。

蒸发量的变化还存在着明显的地域特点。郭军等^[15]发现黄淮海流域近50 a来蒸发量减少十分显著;何宛琳等^[16]发现渭河流域气温高的地区蒸发小,气温低的地区蒸发反而大;王文玲等^[17]研究发现红河流域年均蒸发量呈下降趋势;王艳君等^[18-20]发现长江流域蒸发量也呈减少趋势;王佩等^[21]发现泾河流域的气温升高,但蒸发量减少。

作为典型干旱半干旱区的西北地区,其蒸发量研究^[22-26]具有很重要的意义,也得到了一些研究者的注意。例如王素萍等^[27-28]研究发现甘肃省蒸发量总体呈上升趋势,于1980年以后上升更加明显;而胡伟等^[29]发现新疆库车县年蒸发量和4个季节

收稿日期:2013-03-25;改回日期:2013-06-16

基金项目:国家公益性行业(气象)专项项目(GYHY201206004)、高等学校博士学科点专项科研基金(20120211120030)和国家人口与健康科学数据共享平台“气象环境与健康”专题服务建设项目共同资助。

作者简介:李景鑫(1984-),女,山西太原市人,博士研究生,主要从事云物理和气候研究。E-mail:lijx08@lzu.edu.cn

通讯作者:王式功(1955-),男,山东安丘人,教授,博士研究生导师,研究方向为航空气象学、干旱气候和现代天气预报技术。E-mail:wangsg@lzu.edu.cn

蒸发量均呈显著下降趋势;刘蕊蕊等^[30]研究发现石羊河流域 1959~2005 年蒸发量呈下降趋势,夏季和春季蒸发量减少幅度较大是年蒸发量减少的主要原因;李岳坦^[31]研究发现近 47 a 来青海湖流域及周边地区的蒸发皿蒸发量平均每年减少 4.47 mm。由此可见,西北内陆的湖泊流域的蒸发量变化同东部地区一样存在减少的趋势,这与湖泊流域的特性有关,还是地理位置使然?青海湖周围地区的蒸发量变化是否也同样存在减少的趋势?导致这些地区蒸发量减少的原因又是什么呢?这些问题都值得深入探讨。

因此,本文选取位于青海湖东部附近的西宁市,研究其蒸发量近 52 a 的变化,并对影响蒸发量的气象因子进行分析,以期为全球气候变化背景下更深入地认识青藏高原东北侧边坡地区水循环变化特征及其影响因素提供科学根据。

1 资料和方法

1.1 资料及其代表性说明

利用的资料主要是 1954~2005 年青海省 57 个气象站地面观测逐日蒸发量数据及相关气象要素数据。

首先对各测站数据进行质量控制。统计分析发现,青海省年蒸发量在 1 350~3 000 mm 之间,香日德西北部为 2 100~3 000 mm,是全省蒸发量最大的地区,青海东南部和东北部的中心站和门源在 1 116~1 142 mm 左右,是全省蒸发量最小的地区。对比高度图可以看出(图略),低位势地区蒸发量较大,位势高的地区蒸发量较小。其原因可能是高地阻碍湿空气进入,加之光照条件好,热量丰富,昼夜温差大,在晴好而稳定的天气条件下形成的山谷风,白天吹谷风,将水汽运送到高处,加大了低位势地区的蒸发量。通过一元回归分析得到青海省各站年蒸发量随时间变化的统计规律,发现青海东北部 28 个测站蒸发量呈现明显的下降趋势,部分测站如格尔木、西宁下降趋势非常明显。而青海东南部和西部大片区域蒸发量呈振荡波动,幅度不大。本文着重分析蒸发量明显减少的地区,因此选择西宁测站具有较好的代表性。

1.2 方法

(1)使用线性拟合和非线性格丁斯函数(Giddings function)对蒸发量的年际变化趋势进行了拟合,格丁斯函数主要应用于色谱的研究中^[32],并在色谱蒸发光散射中取得重要成果。格丁斯函数为:

$$y = y_0 \frac{A}{W} \sqrt{\frac{x_c}{x}} I_1 \left[\frac{2 \sqrt{x_c x}}{W} \right] \exp \left[\frac{-x - x_c}{W} \right] \quad (1)$$

其中 y_0 表示偏移量, x_c 为中值, W 为半高宽, A 为面积,

$$I_1(x) = \frac{x}{2} + \frac{x^3}{2^2 \cdot 4} + \frac{x^5}{2^2 \cdot 4^2 \cdot 6} + \frac{x^7}{2^2 \cdot 4^2 \cdot 6^2 \cdot 8} + \dots \quad (2)$$

为第一类变形一阶贝塞尔函数^[33]。

(2)逐项分析蒸发量的年代际变化、逐季的年代季变化和蒸发量的逐月年代季变化特征,并在此基础上分析了年内分配不均匀系数的年代季变化特征。

年内分配不均匀系数为均方差与年内月平均蒸发量的比值,反映年内各时段蒸发量相对于年内月平均蒸发量的偏离程度,年内不均匀系数计算公式如下:

$$C_v = \sigma / \bar{R}, \sigma = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (R_i - \bar{R})^2}, \quad \bar{R} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} R(i) \quad (3)$$

式中, $R(i)$ 为年内各月蒸发量, \bar{R} 为年内月平均蒸发量。由式(3)可以看出, C_v 值越大即表明年内各月蒸发量相差悬殊,年内分配越不均匀。

(3)采用集中度和集中期反映蒸发量在年内各时段的集中程度以及蒸发量最大值出现的时段。集中度就是将各月蒸发量分月按一定角度以向量方式累加,其分量之和的合成量占年蒸发量的百分数,反映蒸发量年内分配的集中程度。集中期是指蒸发量向量合成后的方位,反映全年蒸发量集中的重心所出现的月份。定义集中度 C_d 和集中期 D 如下式:

$$C_d = R / \sum_{i=1}^{12} R(i), D = \arctg(R_y / R_x) \quad (4)$$

由式(4)可以看出,合成向量的方向,即集中期 D 指示了月蒸发量合成后的总效应,也就是向量合成后重心所指示的角度,即表示一年中蒸发量最大值出现月份的位置。而集中度则反映了集中期蒸发量占年蒸发量的比例。

(4)根据彭曼公式^[34]进行了蒸发量的回归分

析。英国气象学家彭曼 (Penman) 在研究前人工作的基础上,综合考虑了净辐射、空气温度、水汽压以及风速等影响蒸散的各种因素,运用空气动力学和能量平衡概念,提出了计算自由水面的可能蒸发量的公式。彭曼公式最开始是对开阔水面的蒸发作估算,公式的一般形式为:

$$E_0 = \frac{SR_n + \gamma E_a}{S + \gamma} \quad (5)$$

式中 E_0 为开阔水面蒸发量, S 为温度—饱和水汽压曲线斜率, R_n 为开阔水面净辐射量, γ 为湿度常数, E_a 为干燥力。彭曼公式中气象要素的测量只需在蒸发面上方一个高度上进行,因此它比其它方法,如空气动力学法或能量平衡法的测量都容易。另外,公式中的 R_n 和 S 一般也不需要测量。 R_n 可用 Penman 的计算公式直接计算,而计算公式中所需的参数可从气象台站获取。 S 可用湿球温度直接求到,有时 S 也被忽略掉。

在蒸发量的回归分析中,主要分析了蒸发量与各因子的相关系数,年蒸发量用 y 表示,日照时数用 x_1 表示,饱和水汽压差用 x_2 表示,与变量 j 的相关系数用 r_{yj} 表示,求得:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 \quad (6)$$

之后,再进行二元回归显著性检验。

2 西宁市蒸发量的变化特征

2.1 年际变化

利用公式:蒸发量 = 前一日水面高度 + 降水量 (以雨量器观测值为准) - 测量时水面高度,对西宁 1954 ~ 2005 年年蒸发量资料进行一元回归分析:

$$y = -102.82712x + 18655.24528 \quad (7)$$

其中, y 代表年蒸发量, x 是时间序数, $x = 0, 1, \dots, 51$ 。拟合情况见表 1。

表 1 统计方程各参数的拟合值

参数	拟合值	相关系数
A	-102.827	0.742
B	18655.245	0.742

从年蒸发量变化曲线(图 1)中可以看出,西宁 52 a 年蒸发量呈波动下降趋势,通过 $\alpha = 0.01$ 显著性水平检验,说明下降趋势非常显著,平均每年减少

约 27.2 mm。1966 年之前略微呈上升趋势,蒸发量明显减少年份在 1967 年,但直到 1980 年都仍在 1603.3 mm 以上,到 1995 年以后的年蒸发量基本都在平均值以下。1966 年为最高值 2095.8 mm,超出平均值约 31%。2005 年达到最低值 1035.0 mm,低出平均值约 35%。

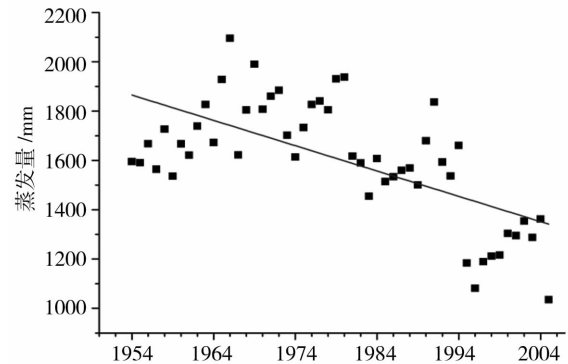


图 1 西宁 1954 ~ 2005 年年蒸发量变化
Fig. 1 The variation of annual evaporation from 1954 to 2005 in Xi'ning

拟合结果表明,西宁蒸发量年际变化趋势符合峰函数中的格丁斯函数分布,见表 2 和图 2。

表 2 格丁斯函数各参数的拟合值

参数	拟合值	相关系数
y_0	4078.281	0.999
x_c	35.250	0.997
W	11.577	0.996
A	864583.263	0.999

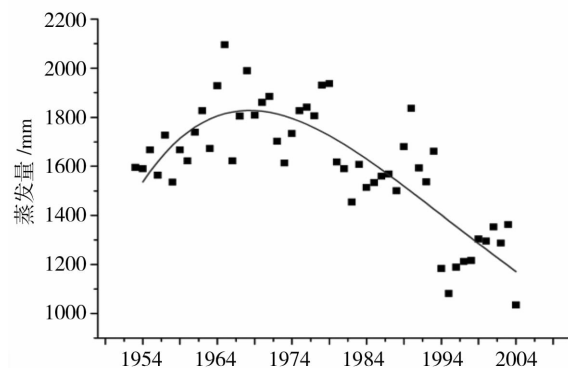


图 2 西宁 1954 ~ 2005 年年蒸发量格丁斯函数拟合曲线

Fig. 2 Annual evaporation fitting curve with the Giddings function from 1954 to 2005 in Xi'ning

2.2 西宁市蒸发量的年代际变化

对蒸发量的统计结果表明:西宁年蒸发量年代际变化也呈下降趋势,年蒸发量从1960年代的1797.01 mm一直减少到1990年代的1419.03 mm,减少了377.98 mm。各年代减少的幅度存在差别,1980年代减少的幅度最大,1970年代略微有所上升(图3)。

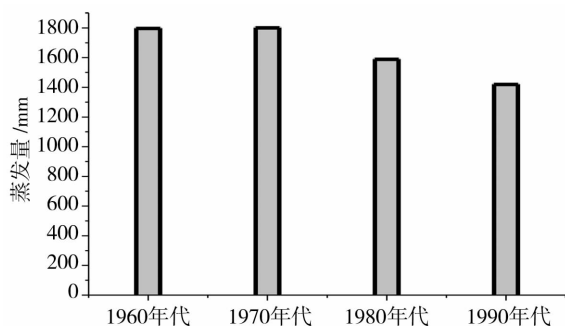


图3 西宁年蒸发量的年代际变化
Fig. 3 The decadal variation of annual evaporation in Xi'ning

2.3 蒸发量的季节变化

对蒸发量的统计结果(表3)表明,西宁1960~1999年年蒸发量为1651.3 mm。其中,冬季145.9 mm,占全年8.8%左右;春季559.0 mm,占全年33.9%;夏季641.2 mm,占全年38.8%左右;秋季350.3 mm,占全年约21.2%。可以看出夏季蒸发量最大,春季次之,冬季最小。从各季蒸发量的变化曲线图(图略)也可以看出,春季和夏季年蒸发量呈现非常明显的下降趋势。夏季平均每年减少4.0 mm,占

年蒸发量减少总量的42%左右;春季平均每年减少3.7 mm,占年蒸发量减少总量的37%左右。由此可见,年蒸发量的减少主要是由春季和夏季蒸发量的减少造成的。各季蒸发量在每个年代均有减少。

表3 西宁蒸发量逐季的年代际变化(单位:mm)
Tab. 3 The decadal variation of seasonal evaporation in Xi'ning (Unit: mm)

年代	春季 (3~5月)	夏季 (6~8月)	秋季 (9~11月)	冬季 (12~2月)
1960	615.09	704.72	327.33	149.87
1970	615.12	702.85	328.31	154.52
1980	538.65	612.46	291.18	146.24
1990	467.08	544.63	274.46	132.86

2.4 蒸发量的月变化

西宁1960~1999年平均月蒸发量为137.60 mm,其中5月最多为230.43 mm,占全年约14%;6月次之,为220.57 mm,占全年约13%;12月最少,为40.10 mm,占全年约2%。6月的蒸发量下降最快,平均每年减少约3.16 mm。

蒸发量逐月的年代际变化统计结果表明(表4),从1960~1990年代,西宁各月蒸发量都有不同程度的减少:6月减少的幅度最大,1970年代略微上升以后,又从247.44 mm减少到1990年代的184.09 mm;1、3、5、8和9月1960~1990年代蒸发量逐渐减小,而其它月份1960~1970年代略有增加,1970年代以后一直在减少。

表4 西宁市蒸发量逐月的年代际变化(单位:mm)
Tab. 4 The decadal variation of monthly evaporation in Xi'ning (Unit: mm)

年代	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1960	45.23	64.56	146.31	213.95	254.83	245.11	236.57	223.04	155.74	111.92	59.67	40.08
1970	43.53	68.59	143.34	222.43	249.35	247.44	238.81	216.60	148.63	114.02	65.66	42.40
1980	42.51	63.17	124.47	189.80	224.38	205.64	207.31	199.51	129.07	100.70	61.41	40.56
1990	36.56	58.96	107.98	165.94	193.16	184.09	186.62	173.92	126.92	90.54	57.00	37.34

2.5 蒸发量年内分配形式的年代际变化

根据公式(3)、(4),分别计算年内分配衡量指标:年内分配不均匀系数 C_v 、集中度 C_d 和集中中期 D ,结果见表5。在1960、1970年代年内分配不均匀系数 C_v 和集中度 C_d 高于多年平均值;

1970年代以后低于平均值,且随时间变化存在明显下降趋势。可见在1960、1970年代年内分配较不均匀,集中程度较高,1970年代以后年内分配非均匀性减小。集中中期 D 随时间没有明显变化,均集中在6月份。

表5 蒸发量年内分配形式的年代际变化
Tab.5 The decadal change of distribution form of inter-annual evaporation in Xi'ning

	分配不均匀系数 C_v	集中度 C_d	集中期 D
1960年代	1.853	0.3745	6月
1970年代	1.824	0.3685	6月
1980年代	1.766	0.3552	6月
1990年代	1.721	0.3482	6月
多年平均值	1.791	0.3616	6月

3 蒸发量的回归分析

彭曼公式中蒸发量的影响因素为开阔水面净辐射量及开阔水面上方空气的饱和水汽压和实际水汽压之差,即饱和水汽压差,而净辐射量主要由日照时数决定。下面通过这2个要素对蒸发量进行回归分析。

根据公式求得年蒸发量与日照时数的相关系数 r_{1y} 为 0.638,蒸发量与饱和水汽压差的相关系数 r_{2y} 为 0.899,日照时数与饱和水汽压差的相关系数 r_{12} 为 0.429。

3.1 一元回归方程的建立

蒸发量—日照时数一元回归见图4,方程为:

$$y = 0.39948 x_1 + 20405.58807 \quad (8)$$

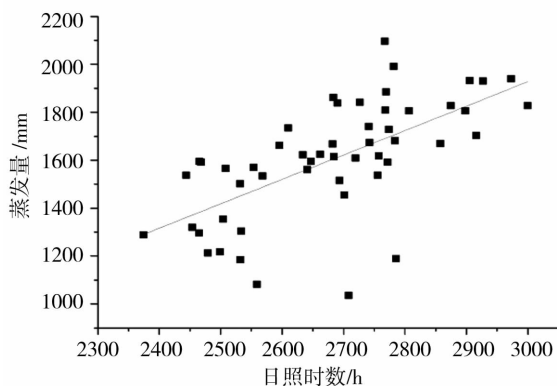


图4 蒸发量—日照时数一元回归
Fig.4 The regression analysis between evaporation and sunshine hours

蒸发量—水汽压差一元回归见图5,方程为:

$$y = 0.00009 x_2 + 3.43386 \quad (9)$$

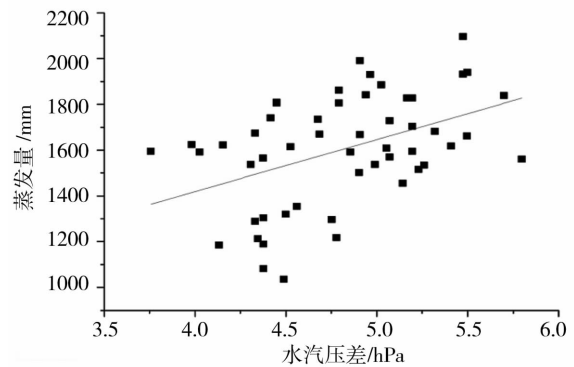


图5 蒸发量—水汽压差一元回归
Fig.5 The regression analysis between evaporation and water vapor pressure difference

3.2 二元回归方程的建立

求得 $\bar{x}_1 = 26763, \bar{x}_2 = 4.808578, \bar{y} = 16024.37$, 因为 $r_{1y} = 0.638, r_{2y} = 0.899, r_{12} = 0.429$, 根据公式求得 $b_1 = 0.485, b_2 = 3941.34, b_0 = -15907.925$, 因此, $y = -15907.925 + 0.485 x_1 + 3941.34 x_2$ 。

3.3 二元回归显著性检验

已知 $r_{1y} = 0.638, r_{2y} = 0.899, r_{12} = 0.429$, 代入公式,求得 $R_0 = 0.918, R_c = 0.354$, 由 $R_0 > R_c$ 由此可见回归方程是显著的,即可认为 y 与 x_1, x_2 之间的线性关系密切,即蒸发量与日照时数、饱和水汽压差的线性关系密切。通过建立的回归方程,进而推算各地的蒸发量,发现与实测值有一定的误差,由于蒸发量还受其它气象要素的影响,下面逐项分析。

4 蒸发量影响因素的相关性分析

计算西宁蒸发量与各要素相关系数发现(表6),影响蒸发量的因素,包括平均气温、日照时数、气温日较差、平均相对湿度、降水量、水汽压、平均风速。

其中,年蒸发量与平均气温的相关系数最大,为 0.762,并通过了显著性水平为 0.01 的信度检验,说明气温是影响蒸发的重要因素。计算表明,西宁 1954~1994 年年平均气温变化不大,但到 1995 年,年平均气温存在非常明显的下降突变,从 1994 年的年平均 7.1℃ 突降到 1995 年的年平均 4.8℃,蒸发量也是在这一年出现了突变性的减小,其中春季的相关性较好。从季节来看,春季的气温在平衡位置上下波动,幅度不大,较为稳定;夏季和秋季在 1990 年代以前略有增温,1995 年发生突变性降温;冬季 1990 年代以前呈显著增温,后在 1995 年也发生突变性降温。夏季是蒸发量最大的季节,夏季的降温必然导致蒸发量的减少。

表 6 不同季节西宁蒸发量与各气象要素相关系数
Tab. 6 The correlation coefficients between evaporation and the meteorological elements in four seasons

	平均气温	日照时数	相对湿度	降水量	平均日较差	水汽压	平均风速
春季	0.729 **	0.548 **	-0.519 **	-0.240 **	0.397 **	0.146 **	0.032 *
夏季	0.560 **	0.718 **	-0.811 **	-0.507 **	0.611 **	-0.346 **	0.002
秋季	0.697 **	0.706 **	-0.209 **	-0.346 **	0.233 **	0.428 **	0.019
冬季	0.666 **	0.463 **	-0.571 **	-0.117 **	0.218 **	-0.029 **	0.215 **
年	0.762 **	0.638 **	0.026 **	-0.425 **	0.202 **	0.493 **	0.014

注: ** 表示通过 $\alpha=0.01$ 显著性水平检验, * 表示通过 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验。

日照时数也是夏秋季影响蒸发量的主要因素。西宁 1954~2005 年年平均日照时数下降趋势非常明显,秋季日照时数减少率最大,平均每年减少 21.2 h;夏季次之,平均每年减少 12.4 h;春季平均每年减少 7.1 h;冬季减少率最小,平均每年减少 6.3 h。以上变化均通过信度为 0.01 显著性水平检验。气温下降、日照时数的减少都将引起蒸发量的减小,由此可见气温和日照均为影响蒸发量变化的重要因子。而影响日照时数的主要因子是总云量,在夏秋季尤为显著,其变化见表 7。

表 7 不同季节西宁日照时数与云量相关系数
Tab. 7 The correlation coefficient between sunshine hours and cloud amount in four seasons

	总云量	低云量
春季	-0.606 **	-0.472 **
夏季	-0.740 **	-0.658 **
秋季	-0.730 **	-0.614 **
冬季	-0.628 **	-0.201 **
年	-0.590 **	-0.447 **

注: ** 表示通过 $\alpha=0.01$ 相关显著性水平检验。

蒸发量与日照时数、平均风速、平均气温、平均日较差呈正相关,与相对湿度、水汽压、降水量呈负相关。统计发现,西宁 1954~2005 年平均日最高气温与平均日最低气温都以 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 的速率增加,但年平均日最高气温开始增加的时间比最低气温滞后,这就导致了在最初的几年中日较差变小,到 1995 年,低温突变下降时,高温还在持续上升,导致后几年中日较差变大。年蒸发量与气温日较差和平均风速的相关性不明显。

夏季蒸发量与相对湿度的负相关系数最大,为

-0.811,与日照时数的相关系数次之,为正相关 0.718。夏季相对湿度大的地区蒸发小。西宁 1960~1999 年年平均相对湿度的变化速率在 1990 年代以前略微下降,1990 年之后迅速上升,到 2000 年上升了 11%,而降水量和水汽压均显示 10 a 为振荡周期的上下波动,但降水日较少,所以降水量不是影响西宁市蒸发量变化的主要因子。

5 结 论

(1) 西宁年蒸发量 52 a 呈显著下降趋势,通过 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验,平均每年减少约 27.2 mm,并且年蒸发量的年际变化趋势符合格丁斯函数分布。

(2) 从 1960~1990 年代,西宁市蒸发量减少了 377.98 mm,其中 1980 年代减少的幅度最大。春季和夏季蒸发量显著减少,其年蒸发量的变化主要是由春季、夏季蒸发量的变化引起的,夏季平均每年减少 4.0 mm,约占年蒸发量减少总量的 42%。平均月蒸发量的年代际变化特征也比较明显,其中 5 月是蒸发量最大的月份,6 月的蒸发量下降最快,平均每年减少约 3.16 mm。

(3) 蒸发量年内分配形式的年代际变化表明,在 1960、1970 年代年内分配较不均匀,集中程度较高;1970 年代以后年内分配略趋均匀。集中期均集中在 6 月份。

(4) 依据彭曼公式建立了二元回归方程,经过显著性检验,蒸发量与日照时数、饱和水汽压差的线性关系密切。

(5) 影响蒸发量的因素,主要为平均气温、日照时数和相对湿度。夏季的降温和夏季、秋季日照时数的减少是蒸发量减少的主要原因。而日照时数的减少主要是总云量增加造成的。蒸发量与日照时数、平均风速、平均气温、平均日较差呈正相关,与相

对湿度、水汽压、降水量呈负相关。

参考文献:

- [1] 左洪超, 鲍艳, 张存杰, 等. 蒸发皿蒸发量的物理意义、近40年变化趋势的分析和数值试验研究[J]. 地球物理学报, 2006(3): 680-688.
- [2] 左洪超, 李栋梁, 胡隐樵, 等. 近40a中国气候变化趋势及其同蒸发皿观测的蒸发量变化的关系[J]. 科学通报, 2005(11): 1125-1130.
- [3] Chattopadhyay N, Hulme M. Evaporation and potential evapotranspiration in India under conditions of recent and future climate change[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1997, 87(1): 55-73.
- [4] Roderick M L, Farquhar G D. The cause of decreased pan evaporation over the past 50 years[J]. *Science*, 2002, 298(5597): 1410-1411.
- [5] Thomas A. Spatial and temporal characteristics of potential evapotranspiration trends over China[J]. *International Journal of Climatology*, 2000, 20(4): 381-396.
- [6] 曾燕, 邱新法, 刘昌明, 等. 1960-2000年中国蒸发皿蒸发量的气候变化特征[J]. 水科学进展, 2007, 78(3): 311-318.
- [7] 申双和, 盛琼. 45年来中国蒸发皿蒸发量的变化特征及其成因[J]. 气象学报, 2008, 03: 452-460.
- [8] 盛琼. 近45a来我国蒸发皿蒸发量的变化及原因分析[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2006.
- [9] 梁桂花, 张小平, 朱叶. 朔州市近50a蒸发量变化特征及影响因素分析[J]. 干旱气象, 2009, 27(2): 123-126.
- [10] 韩军彩, 张秉祥, 高祺, 等. 石家庄市蒸发皿蒸发量的变化特征及其影响因素分析[J]. 干旱气象, 2009, 27(4): 340-345.
- [11] 杨允凌, 杨丽娜, 王晓娟, 等. 河北邢台地区蒸发皿蒸发量的变化特征及影响因素[J]. 干旱气象, 2013, 31(1): 82-88.
- [12] 周武. 阳江地区54年来降雨量和蒸发量的变化特征[J]. 广东气象, 2009(1): 42-44.
- [13] 吴初梅, 何鹏, 戴平凤. 蒸发量季节变化特点与干旱发生关系的初步分析[J]. 气象研究与应用, 2008(3): 8-11.
- [14] 刘敏, 沈彦俊, 曾燕, 等. 近50年中国蒸发皿蒸发量变化趋势及原因[J]. 地理学报, 2009(3): 259-269.
- [15] 郭军, 任国玉. 黄淮海流域蒸发量的变化及其原因分析[J]. 水科学进展, 2005(5): 666-672.
- [16] 和宛琳, 徐宗学. 渭河流域气温与蒸发量时空分布及其变化趋势分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2006(1): 102-106.
- [17] 王文玲, 李运刚, 何大明. 红河流域气温和蒸发量时空变化分析[J]. 云南地理环境研究, 2008(2): 109-114.
- [18] 王艳君, 姜彤, 许崇育, 等. 长江流域1961-2000年蒸发量变化趋势研究[J]. 气候变化研究进展, 2005(3): 99-105.
- [19] 宋萌勃, 陈吉琴, 张晓健, 等. 长江流域1951-2000年蒸发皿蒸发量变化趋势[J]. 水资源保护, 2011, 27(1): 24-27.
- [20] 刘健, 张奇, 许崇育, 等. 近50年鄱阳湖流域实际蒸发量的变化及影响因素[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(2): 139-145.
- [21] 王佩, 邱国玉, 尹婧, 等. 泾河流域温度与器皿蒸发量时空特征及变化趋势[J]. 干旱气象, 2008, 26(1): 17-22.
- [22] 徐兴奎. 西北干旱和半干旱地区地表蒸发计算方法评估应用[J]. 气候与环境研究, 2011(3): 329-336.
- [23] 王鹏祥. 西北地区干湿演变及其成因分析[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2008.
- [24] 庞成, 马鸿勇, 王伏村, 等. 张掖E601型与小型蒸发皿观测资料对比[J]. 干旱气象, 2011, 29(3): 362-367.
- [25] 庄晓翠, 张林梅, 阿志肯, 等. 阿勒泰地区暖季蒸发变化特征及与气象因子的关系[J]. 干旱气象, 2009, 27(3): 213-219.
- [26] 苗运玲, 卓世新, 杨艳玲, 等. 新疆哈密市近50a蒸发量变化特征及影响因素[J]. 干旱气象, 2013, 31(1): 95-99.
- [27] 王素萍, 张存杰, 韩永翔. 甘肃省不同气候区蒸发量变化特征及其影响因素研究[J]. 中国沙漠, 2010(3): 675-680.
- [28] 王小勇, 杨民, 许东蓓, 等. 兰州市蒸发量研究及其在气象指数中的应用介绍[J]. 甘肃科技, 2007(2): 69-71.
- [29] 胡伟, 姚磊. 新疆库车县近40a来气温与蒸发量变化趋势分析[J]. 水土保持研究, 2008(3): 93-95.
- [30] 刘蕊蕊, 陆宝宏, 许丹, 等. 石羊河流域蒸发量变化特征及影响因素分析[J]. 水文, 2013(1): 82-89.
- [31] 李岳坦, 李小雁, 崔步礼, 等. 青海湖流域及周边地区蒸发皿蒸发量变化(1961-2007年)及趋势分析[J]. 湖泊科学, 2010(4): 616-624.
- [32] Giddings J C. Maximum number of components resolvable by gel filtration and other elution chromatographic methods[J]. *Analytical Chemistry*, 1967, 39(8): 1027-1028.
- [33] 王竹溪, 郭敦仁. 特殊函数概论[M]. 北京: 北京大学出版社, 2006, 337-416.
- [34] 周淑贞, 张如一, 张超. 气象学与气候学(第3版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997, 64.

The Evaporation Variation and Its Influence Factors in Xi'ning of Qinghai Province

LI Jingxin¹, WANG Shigong¹, LI Yan¹, SHANG Kezheng¹, XIANG Dong²

(1. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Key Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reducing of Gansu Province, Lanzhou 730000, China;
2. Climate Center of Shanxi Province, Taiyuan 030002, China)

Abstract: The change trend of evaporation in Xi'ning and its influencing factors were analyzed by using the ground meteorological observation data from 1954 to 2005, and according to Penman formula the regression analysis was made to evaporation. The results show that the decadal, inter-annual, seasonal and monthly evaporation declined significantly in recent 52 years. From the 1960s to the 1990s, the annual evaporation decreased by 377.98 mm and about 27.2 mm per year on average, and in the 1980s the evaporation decreased most. The evaporation in spring and summer decreased obviously and accounted for about 42% of the total annual decrease amount, and in June evaporation declined fastest. The yearly change trend accorded with the Giddings function fitting curve distribution. The decadal variation of interannual distribution showed that there was a higher concentration degree in the 1960s and 1970s, and after the 1970s it tended to be even. There was a close linear relation between evaporation and sunshine hours, saturated water vapor pressure according to regression analysis based on Penman formula. The evaporation variation are mainly caused by temperature, sunshine hours and relative humidity change. The downward temperature in summer and reduction of sunshine hours in summer and autumn resulted in decrease of evaporation, and increase of the total cloud covers caused the reduction of sunshine hours.

Key words: evaporation; Giddings function; influence factors; Penman formula; regression analysis

~~~~~  
(上接第 485 页)

## Trend and Distribution Features of Ratio of Cloud Water to Precipitable Water in Southwest China

LIN Dan, WANG Weijia

(Weather Modification Office of Sichuan Province, Chengdu 610072, China)

**Abstract:** Based on NCEP monthly cloud water and precipitable water data from 1980 to 2009, the spatial and temporal distribution characteristic and variation trend of ratio of cloud water to precipitable water in southwest China were analyzed in this paper. The results show that the annual and seasonal ratio of cloud water to precipitable water in southwest China had obvious regional difference, which decreased from northwest to southeast, and the high value was located in Western Sichuan Plateau. Ratio of cloud water to precipitable water decreased from February to August, and increased from September to January in a year, and the ratio was minimum in summer and maximum in winter. There was a clear downward trend for annual ratio of cloud water to precipitable water in 30 years, and the ratio also decreased in summer and autumn.

**Key words:** southwest China; precipitable water; cloud water; spatial and temporal characteristic