

戴临栋. 逆“蒸发佯谬”现象个例分析[J]. 干旱气象, 2017, 35(6): 998-1003. [DAI Lindong. A Case Analysis on Inverse Phenomenon of “Evaporation Paradox” [J]. Journal of Arid Meteorology, 2017, 35(6): 998-1003], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-06-0998

## 逆“蒸发佯谬”现象个例分析

戴临栋

(兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:**基于山西大同地区8个气象台站1981—2010年蒸发皿蒸发量及其相关气象要素逐月资料,采用线性倾向估计、累积距平和完全相关系数法,对大同地区逆“蒸发佯谬”现象的蒸发皿蒸发量变化特征及其主要气象影响因素进行分析研究。结果表明:从年变化来看,1981—2010年山西大同地区年蒸发皿蒸发量呈现不显著上升趋势,上升率为 $44.14 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,这与当前大部分地区蒸发皿蒸发量所表现的“蒸发佯谬”现象相悖。夏、秋、冬季蒸发皿蒸发量均呈现上升趋势,而春季无明显变化趋势,其中夏季上升趋势显著且上升幅度最大。因此,夏季蒸发皿蒸发量对全年贡献最大。大同地区年蒸发皿蒸发量的年代际变化呈现增加趋势,而季节蒸发皿蒸发量的年代际变化特征不尽相同。其中,春季呈现出先减少、后增加的趋势,夏季呈现持续增加趋势,而秋季和冬季则表现出先增加、后减少的趋势。气温是引起大同地区逆“蒸发佯谬”现象的主要影响因素,而日照时数、日较差、降水量对该地区蒸发皿蒸发量变化的影响相对有限。

**关键词:**逆“蒸发佯谬”现象;蒸发皿蒸发量;完全相关系数;大同地区

**文章编号:**1006-7639(2017)06-0998-06 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-06-0998

**中图分类号:**P332.2

**文献标志码:**A

### 引言

蒸发是地气系统中水循环的三个重要过程之一,对农业、大气科学、水利等方面具有十分深远的意义<sup>[1-3]</sup>,如何准确估算地表蒸发是水循环中一个重要问题。目前,获取地表蒸发量的方式主要有两种<sup>[4]</sup>:一是通过实际观测的各种参数间接获得,如彭曼公式、波文比法、水量平衡法等,其中彭曼公式应用最为广泛;二是通过较精密仪器直接观测获得,如各种类型的蒸发皿、蒸渗计、涡动相关仪、大孔径闪烁仪(LAS)等。蒸发皿由于观测简单、获取样本基数大、持续性较好等优点,一直广泛应用于农业、水文、气象等观测及研究中<sup>[5-6]</sup>,其测得的蒸发量是水资源评价、农业灌溉和气候区划<sup>[7]</sup>的重要参考指标。随着科学技术的发展,人们逐渐意识到蒸发皿蒸发并不能代表实际蒸发,而是局地的潜在蒸发,只能作为实际蒸发的一种参考。因此,深入研究蒸发皿蒸发可以更好地了解地表实际蒸发过程<sup>[8-11]</sup>。

1995年,PETERSON等<sup>[12]</sup>利用前苏联和美国

蒸发皿蒸发资料,发现了“蒸发佯谬”现象。所谓“蒸发佯谬”,即人们预计在全球增温的大背景下,蒸发皿蒸发量会上升,而实际观测结果却是其变化呈现出下降趋势。此后,国内外不少学者开始研究造成“蒸发佯谬”的原因<sup>[13-20]</sup>。对此,不同学者持有的观点不尽相同。在国外,BRUTSAERT等<sup>[21]</sup>认为,蒸发皿蒸发量下降的原因是由于地面实际蒸发上升的结果,而RODERICK等<sup>[22]</sup>则认为,蒸发皿蒸发量下降的原因是太阳总辐射的下降。国内研究表明,影响中国蒸发皿蒸发量的主要气象因子有相对湿度<sup>[23]</sup>、日照百分率<sup>[24]</sup>、气温日较差和平均风速<sup>[25]</sup>等。上述研究都是基于各地区“蒸发佯谬”现象产生的科学结论。然而,有些学者发现某些地区存在逆“蒸发佯谬”现象<sup>[26]</sup>,而关于此方面的研究甚少。

鉴于此,本研究基于山西省大同地区8个气象台站1981—2010年蒸发皿蒸发量及其相关气象要素资料,采用线性倾向估计、累积距平和完全相关系数法,分析近30 a大同地区逆“蒸发佯谬”现象的蒸

收稿日期:2017-06-06;改回日期:2017-09-16

基金项目:兰州大学中央高校基本科研业务费专项资金(lzujbky-2017-it25)资助

作者简介:戴临栋(1992-),男,在读硕士研究生,研究方向为大气物理学和大气环境。E-mail:daild15@lzu.edu.cn。

发皿蒸发量变化特征,并探讨其主要气象影响因素,以期更好地了解蒸发过程,为今后的研究提供相关依据。

### 1 资料与方法

利用山西省大同地区 8 个气象观测站(图 1) 1981—2010 年 30 a 逐月观测资料,包括 20 cm 口径小型蒸发皿蒸发量及 E601B 大型蒸发皿蒸发量、风速、气温、日照时数、降水、日较差、水汽压、相对湿度。其中,1984—2001 年大同站 5—10 月蒸发皿蒸发量观测为 20 cm 口径蒸发皿和 E601B 型蒸发皿的协同观测;2002 年以后,大同站 5—9 月蒸发量为 E601B 型蒸发皿蒸发量,其他月份仍为 20 cm 口径小型蒸发皿蒸发量。为保证蒸发皿蒸发量资料的连续性和对比性,把蒸发皿蒸发量统一折算为 20 cm 口径小型蒸发皿蒸发量。气候要素平均值为 8 个台站平均值。



图 1 山西大同地区站点分布  
Fig. 1 The distribution of meteorological stations in Datong of Shanxi Province

采用线性倾向估计、累积距平、完全相关系数<sup>[27]</sup>等方法,分析 1981—2010 年山西大同地区蒸发皿蒸发量的变化特征及其主要气象影响因子。

### 2 蒸发皿蒸发量的变化特征

#### 2.1 年际变化特征

1981—2010 年,大同地区年平均蒸发皿蒸发量为 1 767.1 mm,年最大蒸发皿蒸发量 1 974.9 mm,出现在 1999 年,年最小蒸发皿蒸发量 1 540.3 mm,出现在 2003 年。由蒸发皿蒸发量年变化[图 2(a)]可知,1981—2010 年大同地区年蒸发皿蒸发量的阶段性变化特征明显,1980 年代年蒸发量显著下降,1990 年代明显上升,2000 年代波动较大,无明显变化趋势,但整体呈波动上升趋势,气候倾向率为  $44.14 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,未通过显著性检验,表明 1981—2010 年山西大同地区蒸发皿蒸发量呈现不显著上升趋势,这与当前全球大部分地区蒸发皿蒸发所呈现的“蒸发佯谬”现象相悖。

由蒸发皿蒸发量距平年变化[图 2(b)]可知,大同地区蒸发皿年蒸发量在 1981—1992 年以负距平为主,大多数年份蒸发皿蒸发量小于平均值;1993—1997 年,年蒸发量距平表现出波动变化,正距平与负距平出现年份近乎相当;1998—2010 年,年蒸发量以正距平为主,大多数年份的蒸发量大于平均值。由累积距平变化[图 2(b)]可知,1980—1990 年代初期,大同地区蒸发皿年蒸发量的累积距平呈现持续下降趋势,为蒸发量相对偏小阶段;而后至 2001 年,累积距平表现出波动上升趋势;2002 年以后,累积距平呈现持续上升趋势,为蒸发皿蒸发量相对偏大阶段。

#### 2.2 季节及月变化特征

大同地区蒸发皿蒸发量有明显的季节变化,春

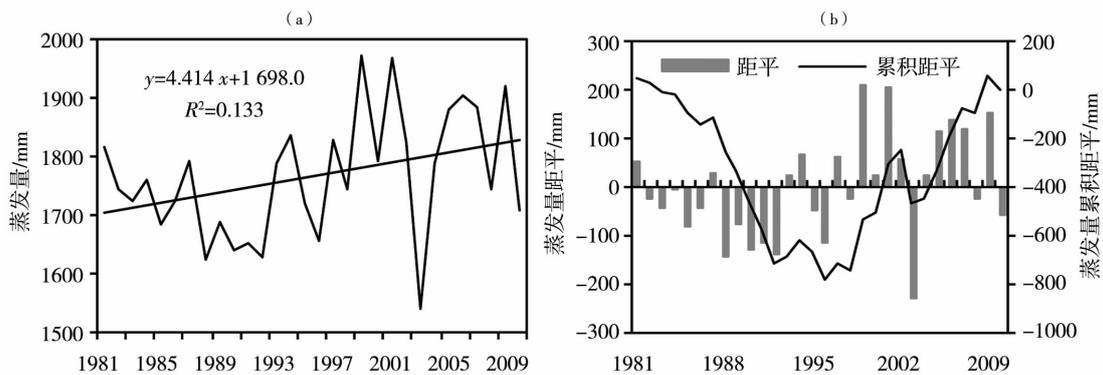


图 2 1981—2010 年山西大同地区年蒸发量变化(a)及其距平和累积距平变化(b)  
Fig. 2 The annual variation of pan evaporation (a) and its anomaly, cumulative anomaly (b) in Datong of Shanxi Province during 1981 - 2010

季蒸发皿蒸发量为 631.7 mm, 约占全年的 35.7%; 夏季蒸发皿蒸发量为 675.3 mm, 约占全年的 38.2%; 秋季蒸发皿蒸发量为 333.6 mm, 约占全年的 18.9%; 冬季蒸发皿蒸发量为 126.6 mm, 约占全年的 7.1%。可见, 大同地区春、夏季蒸发皿蒸发量较大, 而冬季较小。从四季蒸发皿蒸发量的变化趋势(图略)看, 1981—2010 年大同地区夏、秋、冬季蒸发皿蒸发量均呈现上升趋势, 而春季无明显变化趋势(气候线性倾向率为  $0.1 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ), 其中夏季上升趋势显著(通过 0.05 的信度检验), 气候线性倾向率为  $34.9 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ , 而秋、冬季上升趋势不显著, 气候线性倾向率分别为  $3.5 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  和  $5.7 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。由此可知, 大同地区 1981—2010 年蒸发皿蒸发量的增加主要由夏季蒸发量增加造成。

图 3 是 1981—2010 年山西大同地区蒸发皿蒸发量的月变化及其变化趋势。可以看出, 大同地区蒸发皿蒸发量的月变化表现为典型的单峰型特征, 4—7 月蒸发量较大, 约占全年的 57.4%, 其中月最大蒸发量出现在 5 月, 为 289.9 mm, 约占全年的 16.4%; 月最小蒸发量出现在 1 月, 为 34.0 mm, 约占全年的 1.9%。从各月蒸发皿蒸发量的变化趋势看出, 除 1 月、4 月、5 月和 10 月蒸发皿蒸发量表现为下降趋势外, 其他月份均呈现出上升趋势。其中, 7 月和 9 月蒸发皿蒸发量上升趋势显著, 均通过 0.05 及以上信度检验, 气候线性倾向率分别为  $16.88$ 、 $3.57 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ , 其余月份均未通过信度检验。可见, 1981—2010 年大同地区大部分月份的蒸发皿蒸发量变化趋势都不明显。

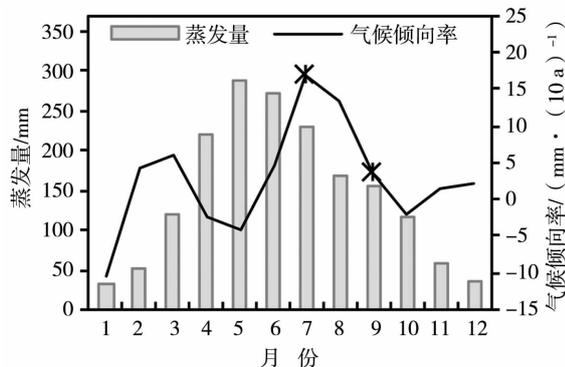


图 3 1981—2010 年山西大同地区月蒸发皿蒸发量分布及其气候线性倾向率(曲线上的标识号表示通过 0.05 及其以上信度检验)

Fig. 3 The change of monthly pan evaporation and their linear climatic tendency rates in Datong of Shanxi Province during 1981—2010 (The labels on the curve passed the significance test at 0.05 level and above)

## 2.3 年代际变化特征

表 1 是 1981—2010 年大同地区年及四季蒸发皿蒸发量的年代际距平。可以看出, 1980—1990 年代, 年蒸发皿蒸发量距平均为负值, 分别为  $-45.67 \text{ mm}$  和  $-4.67 \text{ mm}$ , 而 2000 年代转为正距平, 距平值为  $50.33 \text{ mm}$ 。可见, 1981—2010 年大同地区年蒸发皿蒸发量的年代际变化整体呈现增加趋势。

从各季节蒸发皿蒸发量的年代际距平变化来看, 各季节蒸发皿蒸发量的年代际距平变化不尽相同, 春季蒸发皿蒸发量呈现出先减少、后增加的年代际变化趋势, 夏季呈现持续增加趋势, 距平值均是 2000 年代最大; 而秋季和冬季则呈现先增加、后减少的年代际变化趋势, 距平值均是 1990 年代最大。

表 1 1981—2010 年山西大同地区年及季节蒸发皿蒸发量的年代际距平

Tab. 1 The interdecadal anomaly of annual and seasonal pan evaporation in Datong of Shanxi Province during 1981—2010

单位: mm					
时段	全年	春季	夏季	秋季	冬季
1981—1990	-45.67	-3.07	-27.70	-6.27	-8.60
1991—2000	-4.67	-6.87	-14.20	8.13	8.30
2001—2010	50.33	9.93	41.90	-1.87	0.30

从各月蒸发皿蒸发量的年代际距平变化(表 2)看出, 各月蒸发皿蒸发量的年代际变化趋势也不尽相同, 其中 1 月、4 月、9 月、11 月、12 月均呈现出先增加、后减少的年代际变化趋势, 3 月、6 月、7 月、8 月表现出持续增加趋势, 5 月呈现出先减少、后增加的变化趋势, 10 月呈现出持续减少趋势, 2 月则呈现出微弱增加趋势。经分析, 春季各月蒸发皿蒸发量的年代际变化趋势完全不同, 变化最为复杂; 夏季各月蒸发量的年代际变化趋势高度一致; 秋季和冬季各月蒸发量的年代际变化趋势不尽相同, 变化相对复杂。此外, 各月蒸发皿蒸发量增幅最大的是 1990—2000 年代的 7 月, 增幅为  $33.6 \text{ mm}$ , 而增幅最小的是 1980—1990 年代的 6 月, 增幅仅为  $0.7 \text{ mm}$ ; 蒸发皿蒸发量减幅最大的是 1980—1990 年代的 5 月, 为  $-13.4 \text{ mm}$ , 而减幅最小的是 1990—2000 年代的 11 月, 为  $-1.1 \text{ mm}$ 。

## 3 蒸发皿蒸发量的气象影响因子

蒸发皿蒸发量受多种因子共同作用, 主要有热力因子(气温、日较差、日照时数等)、动力因子(风

表2 1981—2010年山西大同地区各月蒸发皿蒸发量的年代际距平

Tab.2 The interdecadal anomaly of monthly pan evaporation in Datong of Shanxi Province during 1981—2010

时段	单位:mm											
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1981—1990	0.07	-6.60	-7.53	-1.27	5.73	-1.83	-12.13	-13.77	-8.13	3.10	-1.17	-2.07
1991—2000	2.07	3.30	-3.73	4.53	-7.67	-1.13	-10.73	-2.37	7.77	-0.80	1.13	2.93
2001—2010	-2.13	3.30	11.27	-3.27	1.93	2.97	22.87	16.13	0.37	-2.30	0.03	-0.87

速、气压等)以及湿度因子(降水量、水汽压和相对湿度等)等。主要从平均气温、风速、降水、日较差、日照时数、水汽压、相对湿度的趋势变化和完全相关系数方面,探讨不同气象因子对大同地区蒸发皿蒸发量的影响。

### 3.1 气象因子的变化趋势

表3列出1981—2010年大同地区各气象因子的气候线性倾向率及其与时间、蒸发皿蒸发量的相关系数和完全相关系数。从气候线性倾向率看出,其间大同地区平均气温表现出显著上升趋势(通过0.01的信度检验),线性倾向率为 $0.53\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 。在气温显著上升的背景下,大同地区年蒸发皿蒸发量

表现出不显著的上升趋势,这一点与当前蒸发皿研究热点“蒸发佯谬”相反,表现出一种逆“蒸发佯谬”现象。大同地区水汽压表现出上升趋势,线性倾向率为 $0.07\text{ hPa}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ ,但未通过显著性检验,表明1981—2010年大同地区水汽压的上升趋势并不显著。此外,大同地区日照时数、降水量、日较差、相对湿度、风速均表现出下降趋势,线性倾向率分别为 $-74.07\text{ h}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 、 $-5.95\text{ mm}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 、 $-0.25\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 、 $-0.3\%\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 、 $-0.06\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ ,其中仅日照时数和日较差的变化趋势通过了显著性检验,表明日照时数、日较差下降趋势显著,而其余要素下降趋势不明显。

表3 1981—2010年山西大同地区气象因子变化趋势及其与蒸发皿蒸发量、时间的相关关系

Tab.3 The change trend of meteorological factors and their correlation coefficients with pan evaporation and time

气象因子	气候线性倾向率	相关系数		完全相关系数
		与蒸发皿蒸发量	与时间	
平均气温	$0.53\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$	0.546 **	0.634 **	0.346
日照时数	$-74.07\text{ h}\cdot(10\text{ a})^{-1}$	0.224	-0.644 **	-0.144
降水量	$-5.95\text{ mm}\cdot(10\text{ a})^{-1}$	-0.571 **	-0.170	0.097
日较差	$-0.25\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$	0.165	-0.504 **	-0.083
水汽压	$0.07\text{ hPa}\cdot(10\text{ a})^{-1}$	-0.303	0.180	-0.055
相对湿度	$-0.3\%\cdot(10\text{ a})^{-1}$	-0.658 **	-0.107	0.070
风速	$-0.06\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot(10\text{ a})^{-1}$	0.312	-0.310	-0.097

注:\*\*表示通过0.01的信度检验。

### 3.2 主要影响因素

从1981—2010年山西大同地区气象因子与时间和蒸发皿蒸发量的相关系数及完全相关系数(表3)看出,气象因子与时间的相关系数中,通过0.05及以上信度检验的因子有平均气温、日照时数、日较差,而与蒸发皿蒸发量的相关系数中,通过0.05及以上信度检验的有平均气温、降水量、相对湿度。根据完全相关系数公式的条件,即只有当某气候要素与蒸发量相关性较强,且随时间发生显著

变化时,它们的完全相关系数才比较大,且与时间和蒸发量的相关系数必须都通过0.05的信度检验<sup>[27]</sup>,仅有平均气温与时间和蒸发量的相关系数均通过0.01的信度检验,且完全相关系数最大,为0.346,说明气温是引起山西大同地区逆“蒸发佯谬”现象的主要因素,日照时数、日较差尽管完全相关系数较大,但它们与时间或蒸发量之间未同时通过显著性检验,说明日照时数、降水量、日较差对大同地区逆“蒸发佯谬”现象的影响相对有限。

## 4 结 论

(1) 1981—2010 年山西大同地区蒸发皿蒸发量的年际变化较大,蒸发量年平均为 1 767.1 mm,年最大蒸发量为 1 974.9 mm,年最小蒸发量为 1 540.3 mm,相差 434.6 mm。蒸发皿蒸发量的季节及月变化特征明显,春、夏季蒸发量较大且相当,而秋、冬季明显偏小;4—7 月蒸发量较大,累积蒸发量约占全年的 57.4%,冬季各月明显偏小。

(2) 1981—2010 年,山西大同地区年蒸发皿蒸发量呈现出并不显著上升趋势,上升率为  $44.14 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,这与当前大部分地区蒸发皿蒸发量所呈现的“蒸发佯谬”现象相悖;各季节蒸发皿蒸发量的变化趋势不尽相同,夏、秋、冬季均呈上升趋势,而春季则无明显变化趋势,其中夏季上升趋势显著,且上升幅度最大,说明夏季蒸发皿蒸发量的增加对年蒸发量增加的贡献较大;大多数月份蒸发皿蒸发量表现出上升趋势,其中 7 月、9 月蒸发量上升趋势通过显著性检验。

(3) 山西大同地区年蒸发皿蒸发量呈逐年代增加趋势,而各季节、月蒸发皿蒸发量的年代际变化不尽相同。春季蒸发皿蒸发量呈现出先减少、后增加的趋势,而秋季和冬季正相反,表现出先增加后减少的趋势,夏季则为持续增加趋势。其中,春季各月变化趋势完全不同,变化最为复杂,夏季各月呈现出持续增加趋势,而秋、冬季各月变化趋势不尽相同。

(4) 大同地区蒸发皿蒸发量与平均气温、日照时数、日较差、风速呈正相关,而与降水量、水汽压、相对湿度呈负相关。气温不仅与蒸发皿蒸发量的相关性显著,而且与时间的相关性也显著,说明气温是引起大同地区逆“蒸发佯谬”现象的主要影响因素。此外,日照时数、日较差、降水量对该地区蒸发皿蒸发量变化的影响相对有限。

### 参考文献:

- [1] 杨秀芹,钟平安. 蒸发皿蒸发量变化及其研究进展[J]. 地球物理学进展,2008,23(5):1494-1498.
- [2] WILD M, OHMURA A, GILGEN H, et al. On the consistency of trends in radiation and temperature records and implications for the global hydrological cycle[J]. Geophysical Research Letters, 2004, 31(11):293-317.
- [3] 王振亚,郑世林. 气象水文模型耦合在黄河三花间洪水预报中的应用[J]. 气象与环境科学,2014,37(2):8-13.
- [4] 陈伯龙. 蒸发皿蒸发过程的微气象观测及其模拟研究[D]. 兰州:兰州大学,2013.
- [5] 韩松俊,王少丽,杨大文. 农业活动对中国区域“蒸发悖论”规律的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(10):1-8.
- [6] 徐宗学,和宛琳. 黄河流域近 40 年蒸发皿蒸发量变化趋势分析[J]. 水文,2005,25(6):6-11.
- [7] 代海燕,都瓦拉,王晓江,等. 基于 GIS 的内蒙古林业气候区划[J]. 干旱气象,2017,35(2):337-341.
- [8] 陈伯龙,左洪超,高晓清,等. 20 cm 蒸发皿蒸发量的数学物理模型研究[J]. 地球物理学报,2013,56(2):422-430.
- [9] 崔亚强,朱元骏. 陕西长武塬区蒸发皿蒸发量影响因子及预测[J]. 干旱气象,2017,35(4):575-580.
- [10] 魏光辉,马亮. 新疆塔额盆地各气象要素对水面蒸发影响的敏感性分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2014,8(5):44-47.
- [11] 魏光辉,陈亮亮,董新光. 基于熵值与关联分析法的塔里木河下游区域水面蒸发影响因子敏感性研究[J]. 沙漠与绿洲气象,2014,8(1):66-69.
- [12] PETERSON T C, GOLUBEV V S, GROISMAN P Y. Evaporation losing its strength[J]. Nature, 1995,377:687-688.
- [13] 祁栋林,肖宏斌,李晓东,等. 1964~2013 年青海省不同生态功能区蒸发皿蒸发量的变化特征[J]. 干旱气象,2016,34(2):234-242.
- [14] 邱新法,刘昌明,曾燕,等. 黄河流域近 40 年蒸发皿蒸发量的气候变化特征[J]. 自然资源学报,2003,18(4):437-442.
- [15] 王艳君,姜彤,许崇育,等. 长江流域 20 cm 蒸发皿蒸发量的时空变化[J]. 水科学进展,2006,17(6):830-833.
- [16] CHATTOPADHYAY N, HULME M. Evaporation and potential evapotranspiration in India under conditions of recent and future climate change[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1997,87:55-73.
- [17] QUINTANA-GOMEZ R. Changes in evaporation patterns detected in northern most South America[C]. Proceeding of Seventh International Meeting on Statistical Climatology, BC, Canada:Whistler, 1998,97.
- [18] 左洪超,李栋梁,胡隐樵,等. 近 40 a 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,2005,50(11):1125-1130.
- [19] 刘学锋,于长文,任国玉. 河北省近 40 年蒸发皿蒸发量变化特征及影响因素初探[J]. 干旱区地理,2007,30(4):45-50.
- [20] RODERICK M L, FARQUHAR G D. Changes in Australian pan evaporation from 1970 to 2002[J]. International Journal of Climatology, 2004,24:1077-1090.
- [21] BRUTSAERT W, PARLANGE M B. Hydrological cycle explains the evaporation paradox[J]. Nature, 1998,396:30-31.
- [22] RODERICK M L, FARQUHAR G D. The cause of decreased pan evaporation over the past 50 years[J]. Science, 2002,298:1410-1411.
- [23] 祁添垚,张强,王月,等. 1960~2005 年中国蒸发皿蒸发量变化趋势及其影响因素分析[J]. 地理科学,2015,35(12):1599-1606.
- [24] 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,2007,18(3):311-318.
- [25] 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,2009,64(3):259-269.
- [26] LINACRE E T. Evaporation trends[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2004,79(1/2):11-21.
- [27] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007.

## A Case Analysis on Inverse Phenomenon of “Evaporation Paradox”

DAI Lindong

(College of Atmospheric Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** Based on the monthly data of pan evaporation and related meteorological elements at 8 meteorological stations in Datong of Shanxi Province during 1981 – 2010, the climate change characteristics of pan evaporation with inverse “evaporation paradox” phenomenon and its influence factors in Datong were analyzed by using linear tendency analysis, accumulative anomaly and complete correlation coefficient methods. The results show that the annual pan evaporation in Datong of Shanxi presented a significant increasing trend during 1981 – 2010, and the rising rate was 44.14 mm per 10 – year, which was in contrast to the current researches of “evaporation paradox” phenomenon in most regions. The change trends of pan evaporation in four seasons during 1981 – 2010 were somewhat inconsistent, the pan evaporation in summer, autumn and winter increased, while in spring it hadn’t changed obviously, and the increasing trend in summer was most significant. Therefore, the contribution of pan evaporation in summer was prominent. From the view of decadal change characteristics, the decadal change of average annual pan evaporation in Datong presented an increasing trend, while for monthly and seasonal pan evaporation, they were not the same. The decadal change trend of pan evaporation was reducing first and then increasing in spring, and it was increasing first and then decreasing in autumn and winter, while the decadal evaporation presented an increasing trend in summer. The temperature was the major factor affecting on pan evaporation with inverse phenomenon of “evaporation paradox” in Datong of Shanxi, while the influence of sunshine duration, temperature diurnal range and precipitation on pan evaporation was relatively limited.

**Key words:** inverse phenomenon of “evaporation paradox”; pan evaporation; complete correlation coefficient; Datong

+++++  
(上接第 974 页)

## Variation Characteristics of Extreme Precipitation Indexes and Their Relationships with Precipitation and Temperature in Handan of Hebei Province from 1974 to 2015

DU Liangliang<sup>1</sup>, ZHOU Xueying<sup>2</sup>, ZHAO Youpu<sup>1</sup>, WANG Shigong<sup>3</sup>

(1. Handan Meteorological Bureau of Hebei Province, Handan 056001, Hebei, China;

2. Bayinguoleng Mongol Autonomous Prefecture Meteorological Bureau of Xinjiang, Korla 841001, Xinjiang, China;

3. School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** Based on the daily precipitation and the maximum, minimum temperature from 16 weather stations in Handan of Hebei Province from 1974 to 2015, the climate change characteristics of extreme precipitation indexes were analyzed by using methods of linear trend analysis, Mann – Kendall test, and then the responses of extreme precipitation indexes to precipitation and temperature were discussed by using correlation analysis. The results show that the change trends of extreme precipitation indexes in Handan of Hebei Province were different during 1974 – 2015, and the days of middle rain (R10) had a slight rising trend, the heavy rain days (R20) and continuous wet days (CWD) hadn’t changed obviously, while the other indexes presented a decreasing trend, and the decreasing trend of the 1 – day maximum precipitation (RX1day), 5 – day maximum precipitation (RX5day) and extreme heavy precipitation (R99P) passed the significance test of 0.05 level, the mutations occurred in 2004, 1992, 2006, respectively. In space, the change rate of each extreme precipitation index had certain regional differences in recent 42 years. The decrease of extreme value indexes, absolute indexes and relative indexes were most obvious in Qiuxian and Quzhou, Fengfeng and Quzhou during 1974 – 2015, respectively. The extreme precipitation indexes were significantly positive correlated with the annual precipitation except for continuous dry days (CDD). The most extreme precipitation indexes were negative correlated with the maximum and minimum temperature, while R10 and CWD were slightly positive correlated with the minimum temperature, and the response of extreme precipitation to the maximum temperature was more sensitive than to the minimum temperature.

**Key words:** extreme precipitation indexes; change trend; correlation analysis; Handan