

天津地区蒸发演变及对本地气候 干旱化影响的研究*

荣艳淑^{1,2)} 屠其璞³⁾

1) (河海大学, 南京 210024)

2) (天津市气象科学研究所, 天津 300074)

3) (南京气象学院, 南京 210044)

摘要 使用天津地区 41 年的气象资料, 分析了潜在蒸发量季节与年际演变的基本特征, 潜在蒸发量的热力和动力两部分在不同季节彼此消涨的规律, 以及不同气象要素对潜在蒸发的影响。提出了累积干燥度 (accumulated dryness) 的概念, 定量地讨论了蒸发和气候变暖对干旱的影响。研究表明, 对蒸发影响最大的是热力作用, 其对潜在蒸发的贡献年平均可达 70%; 动力作用则在冬季最突出。气象要素中对蒸发影响最大的是气温, 当年平均气温增加 1 °C 时, 年蒸发总量可增加 30.33 mm; 风速的影响次之; 水汽压和日照的影响较小。潜在蒸发量以逐年增大的趋势发展, 尤其是近 10 年, 增长速率达 4.22 mm a⁻¹, 使得累积干燥度逐年增大。在气候变暖的背景下, 增温使潜在蒸发量增大, 在很大程度上导致了年际间的持续干旱, 使气候呈干旱化趋势发展。

关键词: 蒸发演变; 气候; 干旱

文章编号 1006-9585 (2004) 04-0575-09 **中图分类号** P426.2 **文献标识码** A

1 引言

蒸发是影响一个地区地理环境水热平衡的重要气候因子和参数, 是主要的水分支出项。评价一个地区气候的干湿演变时, 过去较多地关注降水量的多少 (即水分平衡的收入项) 及变化, 实际上作为水分与支出的主项, 潜在蒸发在很大程度上影响到气候的干湿状况, 许多研究表明了这一点^[1]。水分收支的盈与亏不仅决定了水资源量的多少及时空分布, 也决定了旱涝是否发生及发生的程度, 对气候变化有很大的影响。研究陆面蒸发已成为日益重要的课题, 特别是在干旱和半干旱区。

近年来, 陆面蒸发主要用于研究水资源的平衡变化, 水利水电工程, 水库调控以及各种植被条件下草场、牧场水资源的高效利用及农田节水灌溉等。李品芳等^[2]研究了毛乌素沙地水分蒸发和草地蒸散量的特征, 发现沙地水分蒸发主要决定于干沙层的厚度和地温的高低, 干沙层的存在抑制了水分蒸发, 从而使毛乌素拥有丰富的地下水资源。闵騫^[3]在鄱阳湖水面蒸发现象的研究中, 通过逐步回归计算发现, 饱和水汽压差和风速对湖面蒸发影响最大。鄱阳湖近几十年的蒸发变化是 20 世纪 60 年代大于

2003-05-23 收到, 2004-10-19 收到再改稿

* 国家科技部社会公益类项目 2002DIB20067 资助

70年代, 70年代大于80年代, 而且, 月蒸发量的年际变化远大于年蒸发量的年际变化。吴敬之等^[4]通过研究河西地区黑河流域绿洲蒸发力发现, 绿洲内蒸发力是戈壁的44%~56%, 而且绿洲内蒸发力并不比湿润地区显著增大。他们用彭曼原式和修正式计算干旱地区蒸发力, 个别年份误差较大, 利用空气饱和差拟合得到的经验计算公式效果最好。黄贤庆等^[5]在进行大尺度蒸发力研究中发现, 月平均气温、月平均气压、月总日照时数与各站的月蒸发有显著的线性关系, 尤其是月平均气温是影响蒸发的第一因子。李爱德等^[6]在研究民勤地区沙地蒸发规律和影响因素中也有类似的结论。洪嘉琰等^[7]在山东四湖的蒸发研究中发现蒸发有减少的规律。

将蒸发演变用于旱涝规律的研究是很有价值的工作。王效瑞等^[8]利用气象要素的简单函数关系, 直接估算蒸发力, 并利用降水与蒸发力的比值作为水分收支和旱涝级别划分的依据, 其能表明旱涝实际灾情的程度与地区间的差异。吴元中等^[9]认为蒸发与净辐射、气温和风速呈正相关, 与土壤热通量呈反相关; 因此, 在干暖天气条件下(往往伴随西南风)土壤失墒快, 尤其是梅雨来临前, 气温高、风速大的天气里会造成短期土壤干旱。有些数值模式的研究也表明, 干、湿土壤对后期降水和气温的影响有较大差异^[10]。李林等^[11]通过对黄河流域蒸散量的分析, 得出了黄河流域上游地区蒸散量以 3.25 mm a^{-1} 的速度上升, 对该地区的干旱影响很大。

在上述研究中, 许多人研究了蒸发的计算方法, 但是对蒸发与干旱的关系论及不多。因此, 本文利用彭曼公式计算潜在蒸发量, 并就计算蒸发量的演变规律讨论蒸发与干旱的关系, 以此研究蒸发对天津地区干旱气候的影响。

2 潜在蒸发的演变分析

2.1 潜在蒸发的计算

我国各气象台站的实际蒸发是使用蒸发皿来测定的(量测仪器有E201和E601等类型), 由于该仪器口径较小, 且水体温度与自由水面有很大差异, 因此, 测定值与实际蒸发有较大的误差。另外, 实际蒸发除与天气因素有关外, 还与土壤的含水量、植被种类及叶面积系数等因素有关, 因此, 估算实际蒸发量很困难。对于干旱和半干旱地区的蒸发量, 世界粮农组织(FAO)推荐使用彭曼蒸发公式, 考虑到天津地区基本属于下垫面不能充分供水的干旱与半干旱地区, 因此, 本文用彭曼潜在蒸发量作为实际蒸发的表征, 用以评估气候干湿的变化及对当地持续干旱的可能影响。

彭曼潜在蒸发公式的原式为^[12]

$$E_{pm} = \frac{\Delta R + \gamma E_a}{\Delta + \gamma} = \frac{\Delta R}{\Delta + \gamma} + \frac{\gamma E_a}{\Delta + \gamma}, \quad (1)$$

式中, Δ 和 γ 分别表示温度为 $t = T_a$ 时饱和水汽压曲线的斜率与干湿表常数, 当大气压为 P 时, $\gamma = 0.46P/1013$; R 为用毫米水层表示的当地太阳辐射平衡值, 用下式估算

$$R = R_a \left(0.18 + \frac{0.55n}{N} \right) (1 - A) - \sigma T_k^4, \quad (2)$$

式中, R_a 为当地天文辐射, n/N 为日照百分率, A 为反射率, σ 为斯波常数, T_k 为绝对温度的平均值。(1) 式中 E_a 为空气动力导致的蒸发, 可用下式估算

$$E_a = 0.35(1 + 0.5V_2)(e_a - e_d), \quad (3)$$

式中, V_2 为 2 m 高度的风速, $(e_a - e_d)$ 为空气饱和差。

实际上 (1) 式是由两部分组成的, 前一部分代表了由于吸收太阳辐射而产生的热能部分, 后一部分代表了由空气动力学产生的平流能 (包括风的扰动和饱和差) 部分。称前者为热力蒸发, 用 E_t 表示; 称后者为动力蒸发, 用 E_d 表示。

2.2 潜在蒸发的季节变化

E_{pm} 的季节变化与气温等要素一样, 夏季 (6~8 月) 较大, 最大值出现在 7 月, 多年平均为 155 mm; 冬季 (12~次年 2 月) 最小, 最小值出现在 1 月, 多年平均为 11 mm。每年中有 5 个月 (5~9 月) 的潜在蒸发大于 100 mm, 在 7 月份达到最大, 平均年较差可达 144 mm 左右。

E_t 的变化与 E_{pm} 相似, 最大值也是出现在 7 月, 多年平均为 141 mm; 最小值出现在 1 月, E_t 为 0。这是因为当净辐射小于等于零时, E_t 按零计算。

E_d 的季节变化是春季最大 (4~6 月), 秋季次之, 夏、冬两季较小 (见图 1)。春季大风过程较多, 加之气温高, 空气干燥, 出现蒸发高峰是正常的; 秋季是另一个风速较大的季节, 造成的动力蒸发较大也是正常的。

计算表明, E_t 对 E_{pm} 的贡献全年平均约为 70%, 6~8 月 E_t 对 E_{pm} 的贡献可高达 90%。由此可以看出, 辐射引起的增温对蒸发的影响非常显著。 E_d 对 E_{pm} 的贡献全年平均约为 30%, 6~8 月只有 10%; 但是, 在冬季, 动力引起的蒸发可高达 61%, 尤其是 1 月份的 E_t 为零, 蒸发完全是由动力所致。由此可知, 虽然动力引起的蒸发在全年大部分季节都小于热力引起的蒸发, 但是在冬季, 动力的作用对蒸发起决定作用。

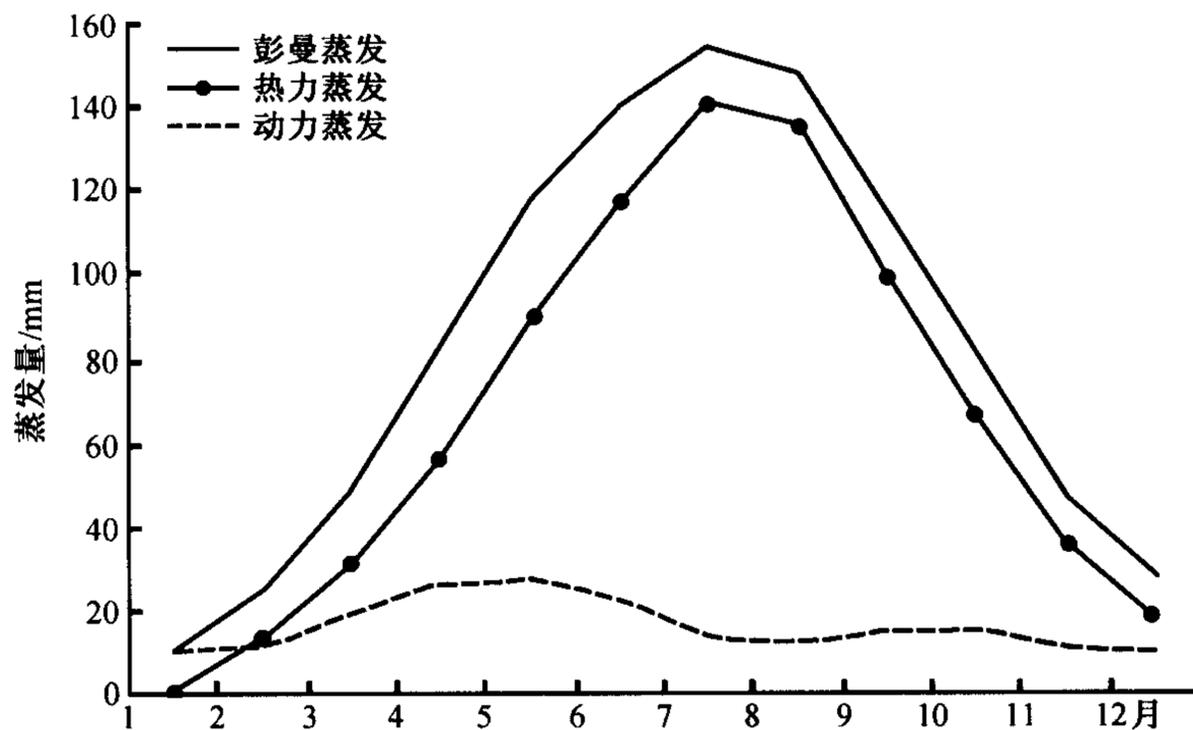


图 1 潜在蒸发量季节变化 (累年月平均)

2.3 潜在蒸发的年际变化

E_{pm} 的年际变化以先下后升趋势变化。20 世纪 60 年代是天津乃至华北地区的干旱期, 同期的潜在蒸发也达到了最大 (潜在蒸发年总量的平均值为 1 009.5 mm); 70 年代是潜在蒸发由大转小的过渡期; 80 年代是天津相对湿润期, 对应的潜在蒸发也是最小的 (潜在蒸发年总量的平均值为 997.8 mm); 从 90 年代开始, 蒸发又开始增大, 但

平均值（潜在蒸发年总量的平均值为 1 004.9 mm）略小于 60 年代（见图 2）。下降期和上升期的速率有较大差别，分别为 -0.503 和 1.834 mm a^{-1} ，近 10 年的潜在蒸发增大更加迅速，上升速率为 4.22 mm a^{-1} 。

从 E_t 和 E_d 的年际变化曲线来看， E_t 与 E_{pm} 的变化也是一致的，只是 E_t 的上升趋势早于 E_{pm} ，其上升期从 20 世纪 70 年代末便已开始，近 10 年的上升速度加快，达 2.06 mm a^{-1} 。这种特征也反映了热力影响对潜在蒸发的年际变化起着重要作用，而且，蒸发对热力的作用有后延效应。 E_d 基本是呈缓慢下降趋势，但是，近 10 年动力蒸发也开始转为上升趋势，上升速率达 1.23 mm a^{-1} 。因此，动力和热力蒸发的年际变化都表明了潜在蒸发逐年增大，且目前仍处于上升趋势。

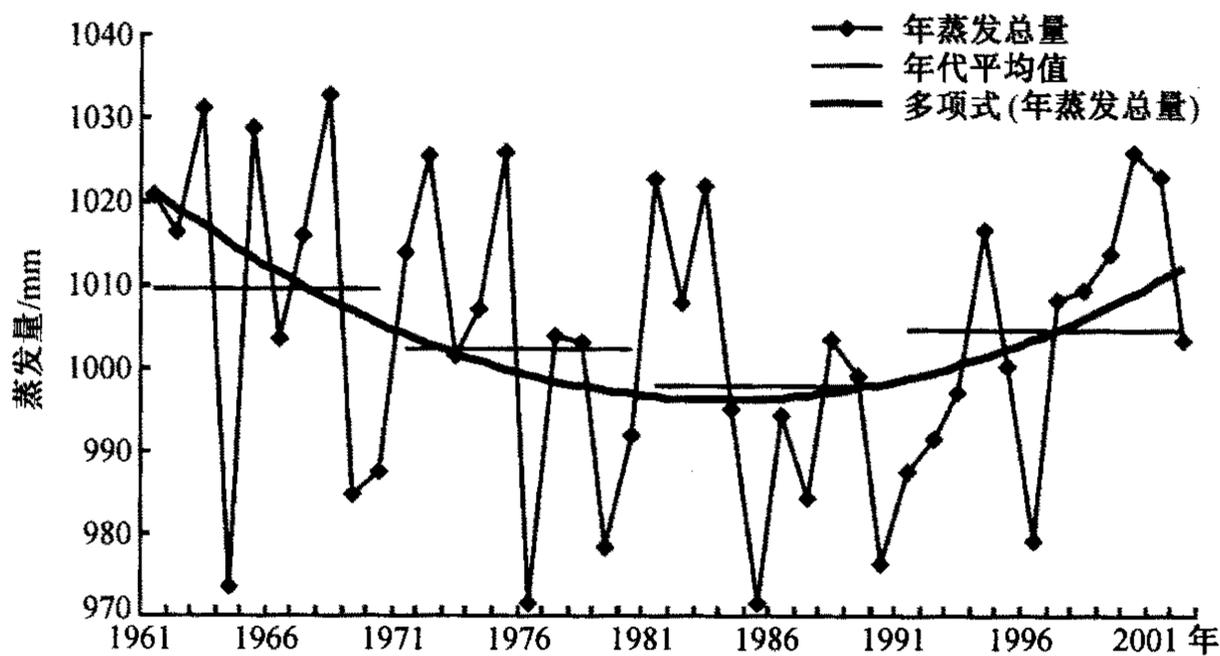


图 2 年潜在蒸发量在不同时期的均值及趋势变化

3 潜在蒸发与诸气象要素的关系

彭曼蒸发的计算是根据温度、风速、水汽压和日照四大气象要素采用半经验的方法（按 1~3 式）估算所得。如仍采用这 4 个要素，组建多元回归模式，可发现：影响年蒸发总量最大的因素为气温（这一结论与黄贤庆等^[5]、李爱得等^[6]的研究是一致的），风速次之，日照和水汽压影响较小。其方差贡献依次为气温 71.9%，风速 25.4%，日照时数 1.5%，水汽压 1.2%。当温度升高 $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，年潜在蒸发可增大 30.33 mm；风速每增大 1 m s^{-1} ，潜在蒸发可增大 35.83 mm；日照时间延长 1 h，潜在蒸发可增大 0.018 mm；水汽压升高 1 hPa 时，潜在蒸发将减少 4.69 mm。不过，不同季节这 4 种气象要素的影响程度是有一定差异的（详见表 1）。

上述分析进一步验证了第 2 部分中谈到的热力作用对蒸发变化的影响，热力作用主要是太阳辐射产生的，太阳辐射的直接体现便是温度和日照时间的变化。动力作用主要表现在扰动对蒸发的影响，扰动最直接的表现形式是风速的变化。从表 1 中各月及年和季的回归分析中可以清楚地看到这些气象要素对蒸发的影响程度。

表 1 潜在蒸发与气象要素的回归分析

时间	标准化回归系数				方差贡献/%				复相关系数	剩余误差	统计检验 (F)
	b_1	b_2	b_3	b_4	p_1	p_2	p_3	p_4			
1月	0.57	-0.71	0.56	-0.03	33.8	31.5	34.7	0.1	0.9946	0.36	833.70**
2月	1.14	-0.79	0.51	-0.02	58.2	28.3	13.4	0.0	0.9893	0.37	413.87**
3月	1.11	-0.39	0.48	0.04	76.0	11.0	12.9	0.1	0.9921	0.48	565.70**
4月	0.95	-0.28	0.62	0.01	61.4	6.8	31.8	0.0	0.9941	0.50	761.93**
5月	0.75	-0.20	0.64	0.00	66.8	4.7	28.5	0.0	0.9888	0.64	394.38**
6月	0.87	-0.08	0.53	-0.01	83.0	0.5	16.5	0.0	0.9966	0.36	1315.96**
7月	0.69	0.05	0.12	0.33	79.6	0.5	2.8	17.1	0.9244	2.46	52.87**
8月	0.99	0.02	0.25	0.00	90.8	0.0	9.1	0.0	0.9973	0.23	1683.22**
9月	1.11	-0.11	0.34	0.03	87.6	0.7	11.7	0.1	0.9972	0.21	1581.89**
10月	1.22	-0.38	0.49	0.05	75.5	6.5	17.9	0.1	0.9939	0.30	728.23**
11月	1.37	-0.80	0.53	0.03	62.7	18.8	18.5	0.0	0.9922	0.27	567.78**
12月	1.08	-0.92	0.69	0.06	49.9	31.2	18.7	0.1	0.9804	0.42	223.31**
年	1.13	-0.13	0.87	0.20	71.9	1.2	25.4	1.5	0.9160	7.50	46.93**
春季	0.95	-0.29	0.70	0.03	67.2	6.7	26.0	0.0	0.9868	1.43	334.55**
夏季	0.85	0.04	0.26	0.22	90.2	0.2	5.9	3.7	0.9757	2.51	178.31**
秋季	1.17	-0.24	0.42	0.17	85.3	3.4	9.8	1.6	0.9180	1.82	48.22**
冬季	1.01	-0.80	0.78	-0.05	48.9	23.6	27.4	0.1	0.9687	1.39	137.05**

注： b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 及 p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4 分别为温度、风速、水汽压日照的标准化回归系数及方差贡献，** 表示通过了信度 0.01 的检验。

4 潜在蒸发的变化对干旱化的影响

为了表征潜在蒸发对干旱的影响，本文选用了干燥度和累积干燥度 (accumulated dryness) 指标来描述。

4.1 干燥度

干燥度 D 的定义为潜在蒸发量与同期降水量的比值

$$D = \frac{E_{pm}}{r}, \quad (4)$$

在降水保持不变的条件下，干燥度的变化是随潜在蒸发量的变化而变化的。

定义： $D \leq 1.5$ 为正常； $1.5 < D \leq 2.0$ 为轻度干旱； $2.0 < D \leq 2.5$ 为中度干旱； $D > 2.5$ 为重度干旱。

根据上述定义，1968、1972、1963、1982 年等为重旱年，这种划分得出的结果与梁平德^[13]、毕慕莹^[14]、魏凤英等^[15] 对干旱的划分结果一致。1997 年至今，天津属中度干旱，90 年代中，只有 1995 年属正常年份，其余均为轻度或中度干旱，近 20 年间，只有 1988 和 1995 年属正常年份，其余也均为轻度或中度干旱。

干燥度的年际演变呈先降后升趋势 (见图 3)，20 世纪 60 年代，干燥度基本为缓

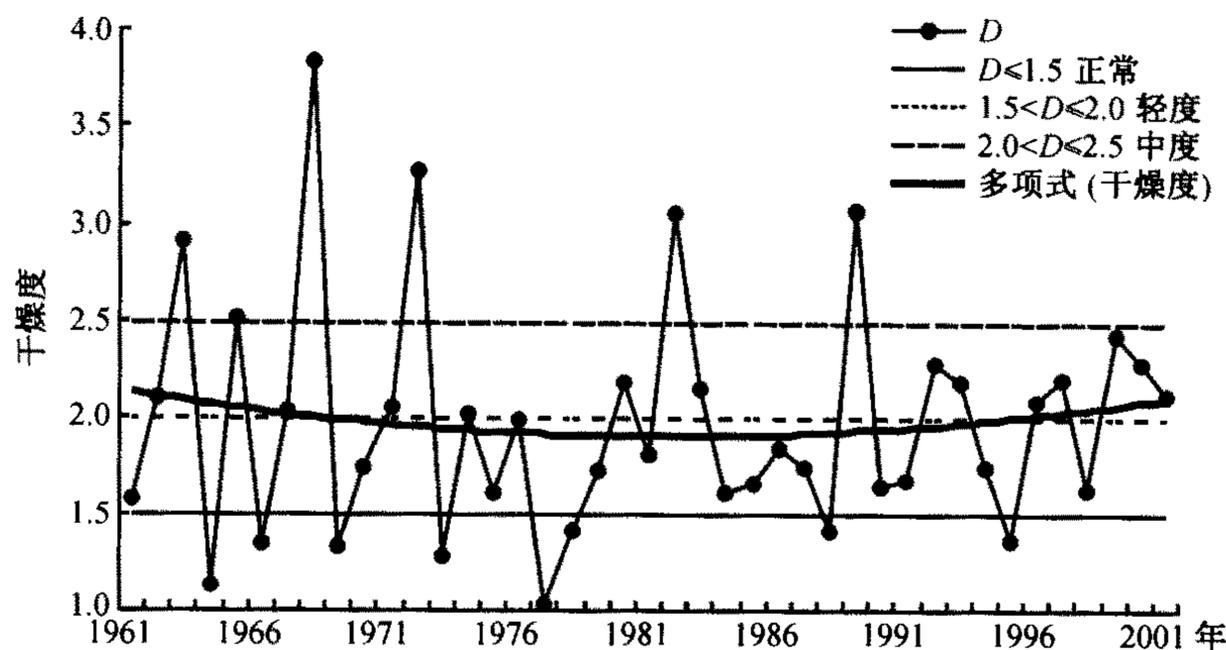


图3 天津地区1961~2001年干燥度(D)变化曲线以及干旱程度划分

降阶段,从80年代后期开始略有上升,统计的41年间递增率为 0.001 a^{-1} 。尽管用干燥度衡量的干旱过程比较准确,但是,干燥度的变化只反映了当年的水份收支情况,并不能清晰地反映干旱的持续性特征。

4.2 累积干燥度

定义累积干燥度 D_{acc} 为

$$D_{\text{acc}} = \sum_{i=0}^n W_i D_i, \quad (5)$$

式中, D_i 表示前 i 年干燥度; W_i 为权重分配, $i=0$ 时为当年的干燥度; n 的取值依考虑影响的年份而定。由于天津地区自1997年以来持续干旱,为了充分考虑这种持续特征,本文取累积的年限为5年。(5)式计算中 n 取值为0~4,即除考虑当年干燥特征外,还考虑了前4年的干燥特征。 W_i 可考虑为调和级数序列 2^{-i} 。由于考虑了前期干旱对当年的影响,因此,累积干燥度可在一定程度上模拟近年经常出现的年际间的持续干旱。

定义: $D_{\text{acc}} \leq 3.0$ 为正常; $3.0 < D_{\text{acc}} \leq 3.5$ 为轻度干旱; $3.5 < D_{\text{acc}} \leq 4.0$ 为中度干旱; $D_{\text{acc}} > 4.0$ 为重度干旱。

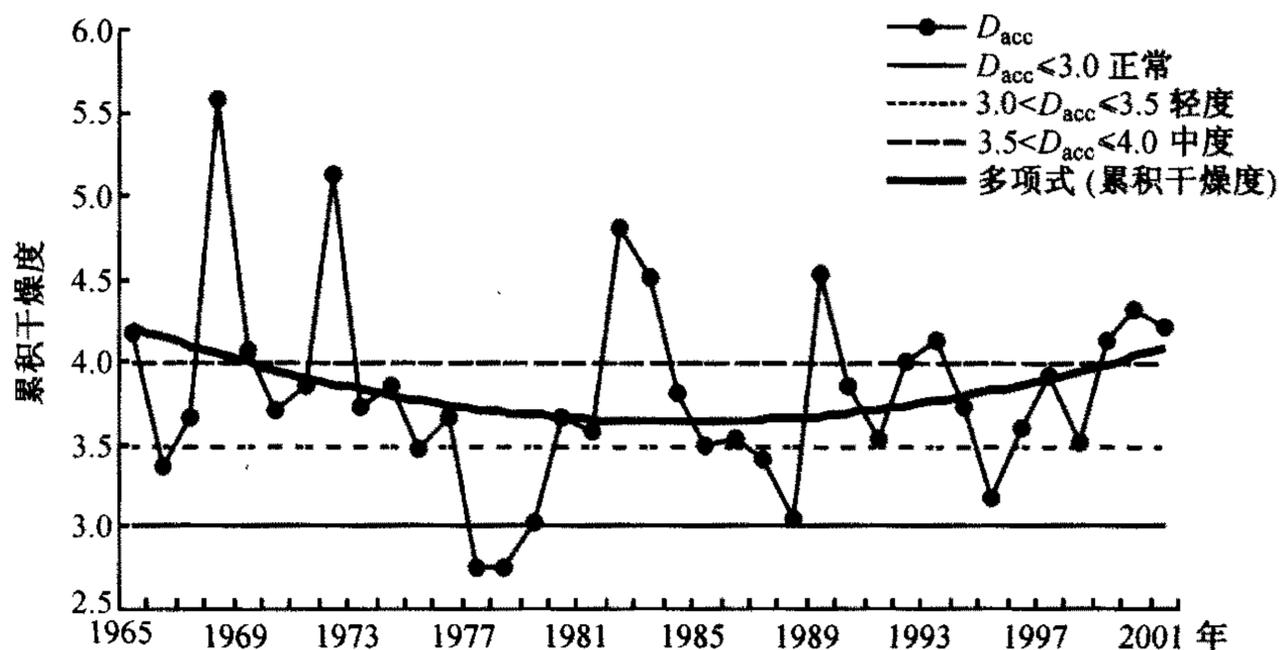


图4 天津地区1965~2001年累积干燥度(D_{acc})变化曲线以及干旱程度划分

根据这种确定, 1982、1963、1972、1968 年等仍属重度干旱范围, 原属于中度干旱的 1992、1993、1996、1997、1999、2000、2001 年均进入重旱范围 (表略), 原属于轻度干旱的 1990、1991、1994、1998 年进入到中度干旱中。这与天津的干旱事实很相符。因此, 累积干燥度可在很大程度上反映出过去干燥的后效影响, 即持续干旱对当年干旱的加剧影响。从图 4 中也可以看出, 累积干燥度是一条明显的先降后升的变化曲线, 其上升速率, 尤其是近 10 年的上升速率达 0.045 a^{-1} , 明显高于干燥度的变化, 可以将前期干旱对后期的影响清晰地描述出来。

5 全球气候变化对天津地区干旱化的影响

全球增温已经成为目前气候变化中最为严峻的问题, 对累积干燥度求温度的导数以期获得增温对干旱的影响分析。

对 (5) 式求温度的导数

$$\frac{dD_{\text{acc}}}{dT} = \frac{dD}{dT} \left(\sum_{i=1}^n W_i \right) = \left(\sum_{i=1}^n W_i \right) \left(\frac{1}{r} \frac{dE_{\text{pm}}}{dT} - \frac{E_{\text{pm}}}{r^2} \frac{dr}{dT} \right), \quad (6)$$

视降水量 r 不随时间变化 (事实上天津地区年降水量是以减少趋势发展的), (6) 式又可写为

$$\frac{dD_{\text{acc}}}{dT} = \frac{\left(1 + \sum_{i=1}^n W_i \right)}{r} \frac{dE_{\text{pm}}}{dT}, \quad (7)$$

取降水量标准气候平均值 (天津地区 1971~2000 年平均值) 548 mm, $dE_{\text{pm}}/dT = 30.33$, 则温度升高 $1 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 累积干燥度的增量为 0.109。在大气中二氧化碳倍增的条件下, 如果平均气温增加 $2\sim 3 \text{ }^\circ\text{C}$ ^[16,17], 累积干燥度将增加 0.218~0.327。

当累积干燥度增大时, 干旱的频率也将发生变化 (见表 2), 原序列与增温 $1 \text{ }^\circ\text{C}$ 时相比, 以累积干燥度为指标的中度以上干旱频率明显增加, 由原来的 70.73% 增加为 78.05%, 增幅 7.32 个百分点。当增温 $3 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 频率变化更加显著, 累积干燥度的正常频率减少了 7.32 个百分点, 而中度以上的累积干旱频率增加为 82.93%, 增幅 12.2 个百分点。可见, 温度的变化对潜在蒸发和干旱的影响都非常显著。

事实上, 自 20 世纪 80 年代全球气候明显变暖以来, 天津地区的气温一直处于缓升中, 年均气温增幅 $0.064 \text{ }^\circ\text{C a}^{-1}$, 冬季增温更加明显, 增温幅度约为 $0.29 \text{ }^\circ\text{C a}^{-1}$, 因此, 潜在蒸发增大是必然的。同时天津地区夏季降水一直在减少, 除 80 年代有些年份

表 2 不同增温幅度下累积干燥度频率变化

增温幅度	正常		轻度干旱		中度干旱		重度干旱	
	频率/%	频率变化 (百分点)	频率/%	频率变化 (百分点)	频率/%	频率变化 (百分点)	频率/%	频率变化 (百分点)
原序列	9.76		19.51		41.46		29.27	
增温 $1 \text{ }^\circ\text{C}$ 时	7.32	-2.44	14.63	-4.88	43.9	2.44	34.15	4.88
增温 $2 \text{ }^\circ\text{C}$ 时	7.32	-2.44	9.76	-9.76	39.02	-2.44	43.9	14.63
增温 $3 \text{ }^\circ\text{C}$ 时	2.44	-7.32	14.63	-4.88	31.71	-9.75	51.22	21.95

注: 表中负号为频率减少

相对湿润外, 90年代降水减少的趋势非常明显, 这种现象在北方地区也是普遍存在的^[18~20]。在气候变暖的背景下, 潜在蒸发增大, 加之降水减少, 干旱加剧也就毫无疑问了。

近几年的持续干旱对天津的水资源产生了巨大影响, 滦河断流, 政府不得不引黄入津, 干旱已成为影响天津发展的重要问题。

6 结论

通过以上分析可以得出以下几点结论:

(1) 对潜在蒸发影响最大的因素是热力导致的蒸发, 但是在冬季, 尤其是1月份, 动力导致的蒸发起决定作用。4个气象要素中对潜在蒸发影响最大的是气温, 当气温增大1℃时, 潜在蒸发平均可增加30.33 mm, 风速的影响次之, 水汽压和日照对潜在蒸发的影响较小。

(2) 潜在蒸发的年际变化中上升趋势明显, 近20年的上升速率为 1.834 mm a^{-1} , 近10年上升趋势更加显著, 上升速率达 4.22 mm a^{-1} 。

(3) 提出了累积干燥度的概念, 并据此定量地证明潜在蒸发量的增大加重了干旱。可以认为, 潜在蒸发的增加在干旱持续过程中扮演着重要角色。

(4) 在全球变暖的背景下, 增温将导致潜在蒸发增大, 促进干旱加剧, 这是一个十分值得关注的问题。

参 考 文 献

- 1 马柱国、魏和林、符淙斌, 中国东部区域土壤湿度的变化及其与气候变率的关系, *气象学报*, 2000, **58** (6), 278~287.
- 2 李品芳、李保国, 毛乌素沙地水分蒸发和草地蒸散特征的比较研究, *水利学报*, 2000, **3**, 24~28.
- 3 闵睿, 鄱阳湖水面蒸发规律初探, *水文*, 1994, **6**, 35~42.
- 4 吴敬之、王尧奇、高洪春, 河西地区黑河流域绿洲蒸发力特征及其计算方法, *高原气象*, 1994, **13** (3), 377~381.
- 5 黄贤庆、刘新仁, 大尺度蒸发模型研究, *河海大学学报*, 2000, **26** (4), 13~18.
- 6 李爱德、王耀林、赵明, 民勤地区沙面蒸发及影响因素的初步研究, *干旱区研究*, 1996, **13** (9), 54~59.
- 7 洪嘉琏、傅国斌、郭早男, 山东南四湖水面蒸发实验研究, *地理研究*, 1996, **15** (3), 42~49.
- 8 王效瑞、张诗玉、田红, 蒸发力的统计估算模式及其在旱涝诊断中的应用, *大气科学研究与应用*, 1998, **5**, 91~96.
- 9 吴元中、丁荣富、王承澎, 气象因子与土壤水分关系的研究, *大气科学研究与应用*, 2000, **5**, 16~23.
- 10 Shukla, J., and Y. Mintz, The influence of land-surface evaporation on the earth's climate, *Science*, 1982, **215**, 1498~1501.
- 11 李林、张国胜、汪青春, 黄河上游流域蒸散量及其影响因子研究, *气象*, 2000, **26** (12), 6~10.
- 12 Penman, H. L., Natural evaporation from open water, bare soil and grass, *Proc. Roy. Soc. London*, 1948, **A193**, 120~146.
- 13 梁平德, 华北平原夏季干旱的天气分析, *北方天气文集* (6), 北京: 北京大学出版社, 1987, 138~151.
- 14 毕慕莹, 近40年来华北干旱的特点及其成因, *旱涝气候研究进展*, 叶笃正、黄荣辉主编, 北京: 气象出版社, 1990, 23~32.

- 15 魏凤英、曹鸿兴, 华北干旱异常的地域特征, 应用气象学报, 1998, 9 (2), 205~211.
- 16 王绍武, 现代气候学研究进展, 北京: 气象出版社, 2001.
- 17 Houghton, J.、戴晓苏、石广玉、董敏等译, 全球变暖, 北京: 气象出版社, 1998.
- 18 黄荣辉、徐予红、周连童, 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势, 高原气象, 1999, 18 (4), 465~475.
- 19 符淙斌、温刚, 中国北方干旱化的几个问题, 气候与环境研究, 2002, 7 (1), 22~29.
- 20 Chen Lianshou, Shao Yongning, and Dong Min, Preliminary analysis of climatic variation during the last 39 years in China, *Adv. Atmos. Sci.*, 1991, 8 (3), 279~288.

The Research of Effects of Evaporation Evolution on Climatological Drought Trend in Tianjin Region

Rong Yanshu¹⁾, and Tu Qipu²⁾

1) (*Hohai University, Nanjing 210098*)

2) (*Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044*)

Abstract The characteristics of inter-seasonal and inter-annual changes of potential evaporation, the change rules of thermal and dynamical evaporation in seasons and the relationships between potential evaporation and meteorological elements, the effect on the drought climate were analyzed according to the data of 9 stations from 1961 to 2001 in Tianjin region. Analyses revealed that thermal evaporation was the main part of the potential evaporation and offered about 90 % contribution power to it in summer, while in winter the dynamical was greater than the thermal, especially in January, offered 100 % contribution power, that influence of temperature to the change of potential evaporation was much more larger than one of wind, vapor pressure and sunshine duration, and potential evaporation increased by 30.33 mm with temperature warming 1 °C, and that potential evaporation had a surprising upward tendency, in particular during the past decade, it speeded up with the velocity of 4.22 mm a⁻¹ and make the accumulated dryness increase with the years. The potential evaporation in Tianjin region will be higher than the past, on the global warming background, so that it has a large impact on the drought, especial on duration drought.

Key words: evolution of evaporation; climate; drought