

京津地区近40年气候变化 对水资源的影响*

黄朝迎

(国家气象中心)

提 要

本文利用气象和水文资料,分析了京津地区近40年间气候变化特征及其与水资源的关系,指出了气候阶段性变化比年际变化对水资源所造成的影响严重。

京津地区是我国首都北京所在地,也是我国政治、经济、文化、交通的中心地区。近年来,由于人口、经济的迅速发展,加上气候变化等因素,水资源问题已成为该地区国民经济发展的限制因素。水资源开发利用中的环境问题也日益引起人们的关注。

一、经济发展与水资源的关系

北京市1980年用水量与1949年相比,生活用水增加了30多倍,工业用水增加了近40倍。工业用水定额,以1980年计,每万元工业产值需水 376m^3 ;天津市工业用水量略低于北京,每万元工业产值需水 310m^3 。可见,工业产值的增长,是以水资源的满足为前提的。天津市从建国后至1979年的30年间,自来水的供水量平均每年增长8.8%。城市生活用水迅速增加,一方面是因为城市人口的增长,另一方面是生活用水标准的提高。北京市1980年为 $200\text{L}/\text{人}\cdot\text{d}$,1984年则上升为 $245\text{L}/\text{人}\cdot\text{d}$,在1970—1980年间平均每年递增8.7%,1980—1984年间递增5.3%。天津1980年为 $80\text{L}/\text{人}\cdot\text{d}$,1984年为 $101\text{L}/\text{人}\cdot\text{d}$,平均每年递增6%。城市发展也必须以充分的水资源为基础。没有这个基础,城市要发展就很困难。在1980—1984年间,京津地区由于降水连续偏少,许多城镇供水非常紧张。为了解决北京和天津的用水问题,决定密云、官厅两水库在蓄水没有根本好转以

前,只给北京供水,不再向天津、河北供水,天津用水由临时引黄解决。1981年10月至1982年11月,花了很大代价,先后两次多处引黄(黄河)、引岳(岳城水库)济津,天津市收水约 $10\text{亿}\text{m}^3$,才渡过了水源危机。

农业生产与水资源的关系更直接更密切,例如,1972年京津地区遭受严重干旱的影响,北京市粮食总产比1971年减少2.5亿kg,天津市减产幅度更大,总产由1971年的4.1亿kg减少到1.8亿kg,只及上年总产的40%左右,单产也只有前一年的40%稍多。进入80年代,连年少雨干旱,1980—1984年连续5年农业遭受严重旱灾,北京农田受旱面积达1212.5万亩,平均每年242.5万亩,约占播总种面积的1/4;天津受旱面积5年累积达1041.3万亩,平均每年208.3万亩,约占总播种面积的1/5。其中,天津小麦亩产连续5年都在150kg以下,头3年都在100kg以下。在这几年,为了缓和城市用水紧张状况,许多原来以农业供水为主的大、中型水库,如密云、官厅、潘家口、于桥等水库,都部分或全部转为供给工业和城市用水,挤掉了一些农业用水,在一定程度上加剧了干旱对农业的威胁。

二、近40年气候变化

近40年来,京津地区社会经济和人口与

*自然科学基金资助项目

40年前相比增加了许多倍，水资源的供需矛盾越来越突出，水已成为京津地区的命脉。因而弄清京津地区近40年来的气候变化规律，对于分析研究京津地区水资源变化及其对社会经济带来的影响是十分必要的。

图1为北京1951—1988年间年平均温度和年降水量百分位数*演变过程。可以看到，在近40年期间，温度大约经历了两个低温期和两个高温期：1951—1957年为低温期，1958—1965年为高温期，1966—1974年为低温期，1975年至今为高温期。目前的高温期是否会持续下去，持续多久？是人们普遍关心的问题，因为许多迹象和研究表明，大气中CO₂和其它温室气体增加，可使地球表面大气温度升高。

降水量变化的阶段性不象温度那样清楚，但也可以看出，1965年以后较1965年以前降水量明显偏少，1965年以后平均年降水量为576.2mm，1965年以前为741.3mm，相差165.1mm，折合成水量1965年以后平均每年少27.74亿m³的水，24年共少665.68亿m³水。如与多年平均值（1951—1980年）644.2mm相比，在1951—1964年间，平均每年多97.1mm，1965—1988年间，平均每年则少68.0mm，折合成水量前者比常年多16.3亿m³，后者比常年少11.4亿m³；在不同时期多雨年（百分位数>50%）出现频率也不同，1951—1964年（多雨时期）的14年中，多雨年为9年，约占总年数2/3；而1965—1988年（少雨时期）的24年中，多雨年为11年，不到一半，其中1965—1985年的21年里多雨年仅8年，约占总年数1/3。值得注意的是进入80年代以后，不仅降水量明显偏少，而且气温明显偏高。在1980—1984年这5年平均降水量只有459.9mm，是近百年来连续降水最少的5年，这5年气温也较高，1982和1983年平均气温分别达12.8℃和13.0℃，是近40年来温度最高的两年，比常年平均（11.5℃）高1.3—1.5℃。较高的气温使干

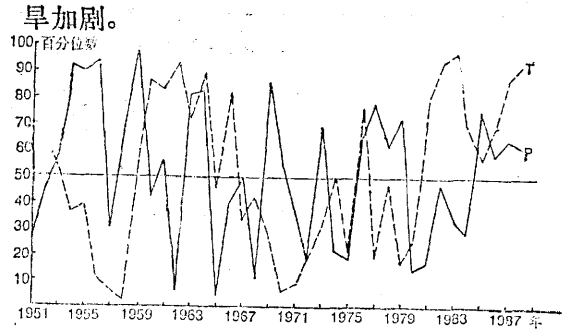


图1 北京历年降水量(P)和温度(T)的百分位数

天津近40年温度变化与北京相比尽管各年不尽一致，但总的变化趋势却相似，也大约经历了两个冷期和两个暖期：1951—1958

表1 天津市各个时期的平均降水量和温度

年 份	降水量 (mm)	温 度 (°C)
1951—1960年	561.3	12.0
1961—1970年	556.9	12.3
1971—1980年	591.3	12.3
1981—1988年	528.1	12.7
1951—1980年	569.9	12.2

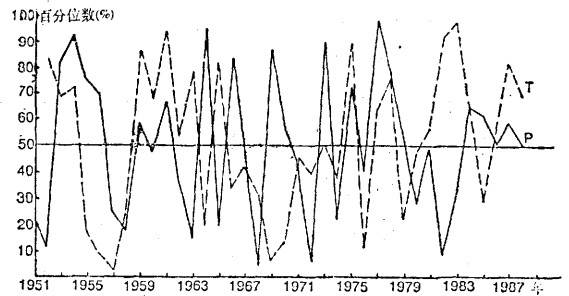


图2 天津市历年降水量(P)和温度(T)的百分位数

年为冷期，1959—1965年为暖期，1966—1974年为冷期，1975年至今为暖期（图2）。值得指出的是，80年代温度在四个时期中最高，1982和1983年年平均气温分别为13.2℃和13.5℃，其中1983年是近40年来温度最高的一年（表1）。降水在近40年间出现两次较

*按雨量大小，从小到大排列，百分位数=[序号/(总样本数+1)]×100%

**曲建和,华北平原旱涝气候特征的研究,山东气象(增刊), 1989, 5。

明显的少雨时期，一个是50年代末到60年代初；另一个是80年代，这是个降水明显偏少的时期（图2）。表1中各个年代的平均降水量也反映出60年代稍少，80年代明显偏少，尤其是80年代的头几年。此外，从图1、图2中还可看到，京津地区降水似乎有3—4年多雨，3—4年少雨的特点，谱分析也证实了北京旱涝变化的主周期为3年**。根据这个特点，从1989年起到90年代初可能降水偏少。事实上1989年1—10月北京降水仅437mm，天津更少，才321mm。再加上气温偏高，蒸发量增大，干旱加剧。

三、气候变化对水资源的影响

按水量收支平衡的原理，以降水量(P)作为区域水资源的收入项，以河川径流量(R)、总蒸发量(E)和地下潜流量(R_u)作为区域水资源的支出项，其差值为区域地表水、土壤水和地下水的蓄变量(ΔS)。因此，区域水量的收支平衡可用下式表示：

$$P = R + E + R_u + \Delta S$$

从该式可以看到，降水量是各项水资源量的总补给来源。在水文上，径流量是衡量一地区水资源多少的标志。而径流量又直接受降水量的影响。因此，我们首先讨论降水量与径流量之间的关系。从降水量和径流量的空间分布来看，两者分布趋势十分一致，比如燕山山脉既是京津地区的多雨中心，又是多径流中心，降水量在700mm左右，径流量在300mm左右；山前平原和山后背风区，降水量骤减，径流量也相应地骤减。可见，山区降水是京津地区水资源的重要来源。

降水量年际变化对径流量的影响十分明显。图3为北京市历年降水总量和径流总量的变化过程，可见两者的历年变化基本上是同步的，距平符号在29年中只有2年不同。为对距平相关性作出正确判断，进行相关概率检验，即统计量

$$D_{实} = \frac{(2m - n)^2}{n}$$

式中n为样本容量，m为距平符号相同的样本个数。在本例中n=29，m=27，代入上式，则为：

$$D_{实} = \frac{(27 \times 2 - 29)^2}{29} = \frac{(54 - 29)^2}{29} = 21.55$$

当 $\alpha = 0.01$ 时， $\chi^2_{\alpha} = 6.635$ ， $\chi^2_{\alpha} < D_{实}$ 。因此，可认为北京市降水量与径流量的距平是相关显著的。用同样的方法检验天津市降水量与径流量距平间的相关性，相关也是显著的。年降水量相对距平达30%的年份，一般都是旱涝较严重的年份，相当于百分位数 $P \geq 80\%$ 或 $P \leq 20\%$ ，即5年一遇。

气候变化对水资源的影响比年际变化的影响更显著。1980—1984年在气候上是少雨

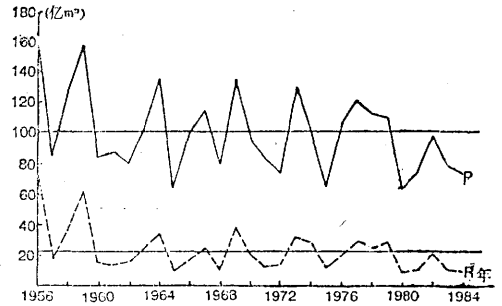


图3 北京市1956—1984年逐年降水量(P)和径流总量(R)

时期，相应地在水文上为枯水期。北京这5年平均年降水量比常年偏少22%，同时期的径流量则比常年偏少47%；天津这5年平均年降水量比常年偏少13%，而同时期的径流量则比常年偏少37%。可见，在枯水期径流量偏少的幅度比降水量偏少的幅度大得多。

气候变化对水资源的影响早在60年代后期降水趋于减少时就开始明显起来了，进入70年代以后其影响越加突出。1970年以前，密云、官厅、岗南、黄壁庄、王块、西大洋和岳城等水库均向天津供水，1970年只剩密云和官厅两水库向天津供水了。1972年后，由于干旱加剧和人类活动需水剧增，不断出

现水资源危机，曾几度“引黄济津”。1979年秋以来连续干旱，1981年8月中央决定，在水源不足的情况下，为了保证对北京的供水，密云、官厅两水库暂停向天津供水。1983年9月，引滦工程投入使用后，国家规定，在保证率 $P=75\%$ 的偏枯水年，潘家口水库调节流量为19.5亿 m^3 ，向天津供水10亿 m^3 ； $P=95\%$ 的枯水年，潘家口水库调节流量为11亿 m^3 ，向天津供水5.5亿 m^3 ，这样天津缺水局面才有所缓和。

自70年代开始，因地表水资源不足而大量开采地下水，造成严重超采，开采量已接近平均补给量，北京东郊漏斗面积已达1000 km^2 ，天津市区地面下沉也很严重，下沉量 $>1.5m$ 的面积已达58 km^2 。

1989年北京降水量再度显著偏少，1—10月降水总量比常年同期偏少30%以上。尤其是常年降雨高峰期的7月下旬至8月上

旬，竟连续20天晴热少雨，出现了1920年以后近70年从未出现过的旱情。官厅、密云水库上游地区更为干旱。汛期官厅水库上游流域内降雨208mm，比上年少120mm；密云水库上游流域内降雨223mm，比上年减少155mm，都比上年同期雨量少40%左右。1989年1—9月，官厅水库来水1.56亿 m^3 ，比上年同期来水少1.14亿 m^3 ，减少42%；密云水库来水3.11亿 m^3 ，比上年同期来水少1.91亿 m^3 ，减少38%。与此同时，地下水也告急，到8月底，全市地下水平均已深达12.76m，比上年同期下降2.03m。

1989年天津也同样再次遭受干旱的袭击，1—10月降水量仅321.4mm，比常年同期偏少40%以上。其中，盛汛期的7、8月份降水量为126.2mm。比常年同期偏少2/3。8月降水量仅17mm，只及常年的1/10（见表2），是近百年来同期降水最少的一

表2 天津1989年1—10年月降水量(mm)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
降水量	1.7	0.0	0.6	7.7	16.1	112.1	109.2	17.0	40.0	17.0
占常年%	54	0	9	37	53	162	58	10	92	68

年。到4月下旬海河水位由2.4m降至1.4m。由于干旱，水资源短缺，农业生产遭受严重威胁，到8月下旬，全市受旱面积达517万亩以上，使春玉米发生卡脖旱，夏玉米抽不出穗。据武清、宝坻、蓟县、静海等地的实地调查，干土层达10—15cm，干旱严重的静海县半数耕地秋粮减收，小麦越冬管理和来年春播也面临困难。秋耕地全部失墒，地表干土层深达20cm，境内地上水源全部枯竭，地下水位明显下降，秋后抢播的小麦，2/3面临死苗威胁。

四、结语

对比多雨和少雨时期降水量表明，京津地区气候变化引起的降水量增减10%以上，即可出现洪涝或干旱，年际变化达30%以上

即可出现洪涝或干旱，这样大的变幅在京津地区并非少见，出现机率为30%左右。

由于气候变化和整个社会经济发展及人口增长，不仅本地降水减少、需水增加，而且入境水量也在逐年减少。据统计，北京市入境水量在1956—1960年间平均为34.72亿 m^3 ，而1976—1979年间减至16.71亿 m^3

表3 北京市入境水量变化(单位:亿 m^3)

年份	平均入境量
1956—1960	34.72
1961—1965	20.63
1966—1970	19.30
1971—1975	16.77
1976—1979	16.71

(下转第57页)

数公式:

$$r_{x_i y} = \frac{\sum x_i y - \frac{(\sum x_i)(\sum y)}{n}}{\sqrt{\left[\frac{\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{n} \right] \left[\frac{\sum y^2 - (\sum y)^2}{n} \right]}}$$

式中 n 为建立模型的样本数(本文 $n=13$)。

由于 $\sum_{i=1}^m r_{x_i y} \neq 1$,需进行归一化处理,

即:

$$x_i = r_{x_i y}^2 / \sum_{i=1}^m r_{x_i y}^2$$

经计算得: $r_{x_1 y} = 0.6738$, $r_{x_2 y} = 0.8014$,

$$r_{x_3 y} = 0.6620, r_{x_4 y} = 0.5437$$

作归一化处理得模糊权重向量:

$$\underline{x} = (0.25, 0.35, 0.24, 0.16)$$

2. 建立评判矩阵

由列联表(表3)乘列联参数 $\theta_{KL} = N_{KL} / N_{K.} + N_{KL} / N_{.L}$ [2]。式中 $N_{KL} / N_{K.}$: 当 x_K 出现时 y_L 的条件频率,称为预报准确率; $N_{KL} / N_{.L}$: 当 y_L 出现时 x_K 的条件频率,称为历史概括率。则列联参数 θ_{KL} 为预报准确率和历史概括率之和。列联参数越大, x_i 为 K 级 y 处于 L 级出现的几率就越大。因此可用列联参数作为预报依据。将列联表次数资料分别计算出各个列联参数,并将其归一化后的列联参数 θ'_{KL} 填入表3括号内。以归一化后的列联参数 θ'_{KL} 建立评判矩阵 R 。

现以1985年为例,从表2已知 $x_1 = 1$ 级, $x_2 = 1$ 级, $x_3 = 3$ 级, $x_4 = 2$ 级,预测小麦赤霉病的发生量。具体计算:

$$Y = X \cdot R$$

采用加权平均型算子[3]计算,即:

$$Y_j = \sum_{i=1}^m (x_i \cdot r_{ij})$$

$$Y = (0.25 \ 0.35 \ 0.24 \ 0.16)$$

$$\times \begin{pmatrix} 0.57 & 0.22 & 0.21 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.18 & 0 & 0.82 \\ 0.41 & 0.59 & 0 \end{pmatrix}$$

$$= (0.60 \ 0.15 \ 0.25)$$

由于 $y_1 = 0.60$ 数值最大,所以预测1985年发生量为1级,即轻发生,实况穗发病率2.5%属1级发生,预测与实际相符。

将1973—1985年的逐年预报因子的分级值,按Fuzzy综合评判模型运算,13年回报理论值与实测值拟合率高达100%,1986—1989年4月独立样本试报全部准确,取得了令人满意的效果。有实际应用价值。

三、讨论

1. 本文对以往多以条件频率 $N_{KL} / N_{K.}$ 建立评判矩阵,现改进为列联参数 θ_{KL} 建立评判矩阵 R 。并以预报因子 x_i 与预报对象 y 的分级值计算其单相关系数,以此组成预报因子权重模糊向量 \underline{x} 。比较充分、客观地利用各因子的信息,大大提高了预测精度。此预报体系很有应用前途。

2. 应用此预报体系可提前4个月准确预测小麦赤霉病的发生量,为指导大田防治工作提供可靠依据,对生产十分有利。

参 考 文 献

- (1) 余剑莉,统计天气预报,气象出版社,1989年。
- (2) 余百炼,昆虫种群动态预测的加权列联表分析法,昆虫知识,1984年第3期。
- (3) 罗承忠,模糊集引论(上册),北京师范大学出版社,1989年。

(上接第22页)

(表3);海河入海水量也出现明显减少的趋势,在1952—1972年间海河平均入海水量约92亿 m^3 ,而1973—1981年间平均入海水量仅8.8亿 m^3 ,其中1968和1972等几个枯水年几乎无水入海。需要指出的是,这里统计的资料尚未包括1980—1984年的枯水期。可见,如遇同样的干旱年,水资源危机将因此而加剧。