

河北省干旱化初探

刘芳圆 肖嗣荣 张可慧 穆仲义

河北省地理科学研究所, 石家庄 050011

摘要 利用水文气象等环境资料, 分析近 50 年来河北省干旱化特点及发展趋势。结果表明, 该省气温显著升高, 降水持续减少, 湖淀干涸, 湿地严重萎缩, 河道断流, 入海水量急剧减少, 地下水环境由丰水区变成了特大超采区, 草场面积减少, 土地沙化面积扩大, 区域环境干旱化形势非常严峻。气候变化和超负荷的水资源开发利用可能是河北地区干旱化的两个主要原因。

关键词 河北省 干旱化 人类活动 气候变化

文章编号 1006-9585 (2008) 03-0309-09 **中图分类号** P461 **文献标识码** A

Preliminary Analysis of the Aridification in Hebei Province

LIU Fang-Yuan, XIAO Si-Rong, ZHANG Ke-Hui, and MU Zhong-Yi

Hebei Institute of Geographical Sciences, Shijiazhuang 050011

Abstract The feature and trend of the aridification in Hebei Province in the last 50 years was analyzed using hydrographic and meteorological data and so on. The results indicate that aridification of the regional environment has some features. The local temperature has risen remarkably, rainfall has reduced continuously, some lakes and rivers have been dry, under ground water has been excessively exploited, and wetland and grassland have been shrunk while desertified land has been expanded. And then the driving factors of the aridification were discussed. Human being's activities, the atmospheric circulation, sea surface temperature and exceptional plateau firm were studied. Human being's activities have changed the components of atmosphere and the characters of land use and water resources were found to be important driving factors after having assessed the contribution to the aridification in Hebei Province. The further study shows that climate change and excessively water resources exploiting are the two major effect factors on the aridification in Hebei Province.

Key words Hebei Province, aridification, human being's activities, climate change

1 引言

20 世纪以来, 受全球增暖和人口增长、不合理经济活动等因素的影响, 地球环境急剧变化, 对人类生存和发展构成严重威胁。河北省地处半干旱半湿润区, 水资源匮乏。近 50 年来, 气温明显升高, 降水量不断减少, 水资源总量也相应减

少, 干旱化问题越来越突出。目前, 河道断流、地下水位持续下降、旱灾频繁发生、入海水量锐减、生态系统退化, 坝上地区沙漠化土地不断蔓延。由此而引起的城乡供水紧张和生态系统退化等一系列生态环境问题, 已严重制约我省经济社会的可持续发展。

干旱化研究日益受到人们的重视, 但迄今为止大多是从气候干湿变化角度考虑, 直接用降水

量等气象要素^[1]或干湿指数^[2]来讨论干旱化问题。这样研究简单方便，并在一定程度上能刻画干旱化特征，但它有一定的局限性。因为干旱化是指区域环境由湿变干的过程，是由水、土、气、生和人类本身所组成的环境系统以及与此相联系的物理、化学、生物和社会过程的相互作用的异常表现^[3]。从本质上讲它是水分亏缺的积累过程，其发生和发展过程可通过对生态系统中水分循环的影响诱发系统的整体变化^[4]。为了较全面地认识河北省区域环境干旱化状况，本文利用水、土、气和人类活动等有关资料，讨论河北省近几十年来干旱化的主要特点和成因。

2 资料

本文所用的气温和降水资料为河北省区域内 70 个气象台站自建站至 2006 年的观测资料，数据来自河北省气象局，其中 67 站是在 20 世纪 50 年代建立的且分布较均匀。地表径流、入境水量、入海水量和地下水位等水文环境数据来自“河北省水资源评价”项目成果和 1985~2005 年的“河北省水资源公报”。人口和经济数据来源于河北省人民政府主办的《河北经济年鉴》^[5]。

3 近 50 年来干旱化的特点

3.1 气候变暖和降水量减少

3.1.1 气温显著升高

近 56 年来河北省气温呈上升趋势（图 1）。

1951~1990 年增温速度为 $0.16\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ ，20 世纪 90 年代气温剧烈升高，比 80 年代上升了 $0.56\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。进入 21 世纪后继续增温，2001~2006 年年平均气温高达 $11.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，比 20 世纪 50 年代升高了 $1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

全省各地 20 世纪 60~90 年代基本处于增温状态（图略），其中坝上高原及桑洋盆地、冀东平原局部、廊坊和沧州西北部以及太行山山前平原局部增温幅度较大，在 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上。该省中南部地区（太行山区及山前平原局部）以及承德市局部增温幅度在 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下，其他地区为 $0.5\sim 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

3.1.2 降水量减少

近 56 年来河北省降水量呈明显减少趋势（图 2）。在这期间，1965、1980 和 1997 年分别是降水的转折点。1951~1964 年期间年均降水量高达 599 mm，是河北省的丰水期。随后河北省进入平水期，1965~1979 年的年均降水量为 529 mm，接近 56 年的平均值（532 mm）。1980 年后该省进入干旱期，1980~1996 年的年降水量减少到 516 mm；1997 年河北省转入严重干旱期，1997~2006 年的年均降水量只有 451 mm，仅是丰水期（1951~1964 年）年降水量的 75.6%。

降水变化的区域差异也很大（图略）。20 世纪 90 年代同 60 年代相比，除北部地区年降水量略有增加外，大部分地区降水量显著减少，在冀东沿海、河北平原中部及东部分布有 3 个减幅高值区，其中秦皇岛市、定州和盐山等站点同期减幅在 120~160 mm。

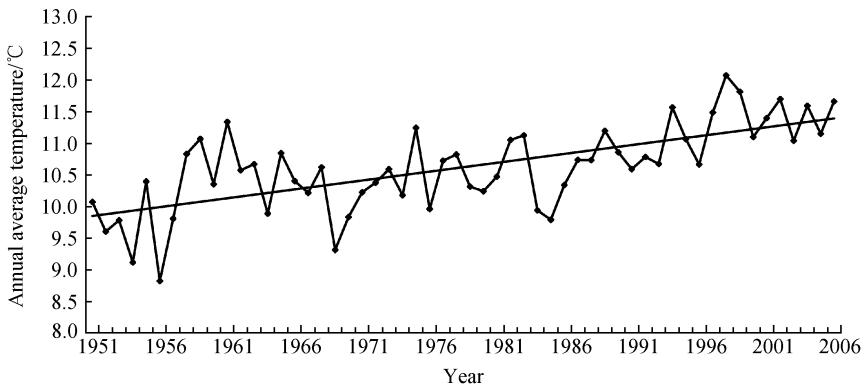


图 1 河北省年平均气温变化趋势
Fig. 1 The change trend of annual average temperature in Hebei Province

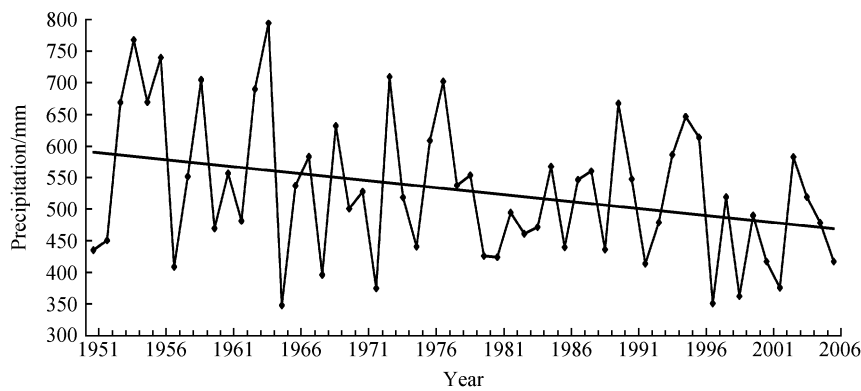


图 2 河北省年降水量变化趋势
Fig. 2 The change trend of annual precipitation in Hebei Province

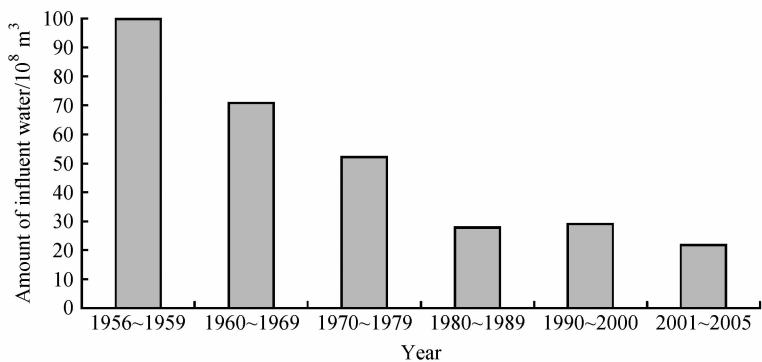


图 3 不同年代入境水量变化
Fig. 3 The amount of influent water to Hebei in different period

3.2 地表水环境干化

3.2.1 地表径流减少显著

河北省地表径流量有逐年减少的趋势，且近年来衰减显著。1956～1964 年年平均径流量 $215.6\times10^8\text{ m}^3$ ，20 世纪 80 和 90 年代分别减少到 100.3×10^8 和 $114.6\times10^8\text{ m}^3$ ，仅是 1956～1964 年期间年均值的一半左右。2001～2005 年进一步减少到 $48.7\times10^8\text{ m}^3$ ，仅相当于 1956～1964 年均值的 1/4 左右。由此可见，这期间该省水文状况发生了很大的变化。

3.2.2 入境水量锐减

河北省 1956～2005 年平均入境水量 $47.5\times10^8\text{ m}^3$ 。1956～1964 年入境水量为 $93.8\times10^8\text{ m}^3$ ，属于丰水期。随后转入偏枯期，从 60 年代中期到 70 年代，年入境水量多在 $40\times10^8\sim70\times10^8\text{ m}^3$ 。到 80 年代后，入境水量进一步锐减，平均入境水量不足 $30\times10^8\text{ m}^3$ ，约为 1956～1964 年期间年入境水量的 30% 左右，该省进入枯水期；2001～

2005 年入境水量降至 $21.75\times10^8\text{ m}^3$ ，仅相当于 1956～1964 年的 20% 左右。河北省不同年代平均入境水量见图 3。

3.2.3 平原河道断流和入海水量剧减

在 20 世纪 50 年代，河北省各条河流水量充沛，内河航运曾盛极一时，航运里程达到 3 523 km。进入 60 年代还可断断续续通航，70 年代已全部停运。近年来，河北省多数河流除个别丰水年汛期外，几乎常年无水。根据京津以南平原区 17 条主要河流河干情况统计，1980～2000 年各河年平均河干天数达 336 天。例如永定河 1980～2000 年期间，年河干天数高达 356 天，仅 1980、1995 和 1996 年有过水记录，其余年份全年无水。连全省水量最丰沛的滦河干流，2000 年汛期也出现了历史罕见的断流现象。该省平原地区已经到了“有河皆干”的境地。

河北省入海水量日渐枯竭（图 4）。20 世纪 50 年代入海水量基本属于自然外流，年平均入海水

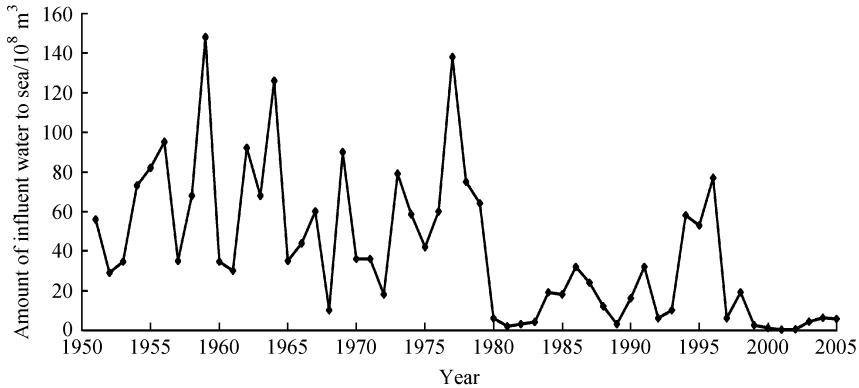


图4 河北省年入海水量变化趋势

Fig. 4 The annual amount of influent water to sea from Hebei Province in the last 50 years

量高达 $86.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。从 1958 年开始兴建水利设施,地表水资源得到控制利用,60 和 70 年代平均入海水量分别减少到 58.9×10^8 和 $60.8 \times 10^8 \text{ m}^3$,80 年代又剧减到 $10.96 \times 10^8 \text{ m}^3$,90 年代回升到 $24.2 \times 10^8 \text{ m}^3$,2001~2005 年的年均入海量更减少到 $3.32 \times 10^8 \text{ m}^3$,仅相当于 50 年代的 3.8%。90 年代入海水量增多主要是 1994 年滦河水系和 1996 年海河南系出现多年罕见特大暴雨,洪水后潘家口、岗南等大型水库泄洪造成的。1992、1997、1999 和 2000 年全省年入海水量都不足 $5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。由此可见,20 世纪 90 年代以来多数年份入海水量是继续减少的。

3.2.4 湖泊干涸,湿地严重萎缩

20 世纪 50 年代,河北省平原上湖淀众多,湿地相连,分布有黄庄洼、七里海、白洋淀、文安洼、大陆泽、宁晋泊、大浪淀、南大港、献县泛区和大名泛区等。仅万亩以上洼淀湿地总面积达到 $110.9 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占平原陆地面积的 17.7% 左右。由于地表水资源急剧减少和人类活动的影响,导致湿地面积逐年减小,有些湿地已荡然无存。目前全省湿地面积减少到 $6.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 左右,仅占 50 年前湿地面积的 6%。现存的“华北明珠”白洋淀也面临着湮废的威胁:近 50 年来,发生干淀 20 年,其中 1981~1987 年连续 7 年干淀;1972 年、1984~1987 年、1992~1993 年和 1997~1999 年无水入淀^[6],致使鱼虾及水生动植物资源遭到严重的破坏。

3.3 地下水丰水区变成超采漏斗区

20 世纪 50 年代河北省地下水资源十分丰富,平原地下水埋深一般只有 1~3 m,自流井和自流

泉遍布全省。特别是太行山山前平原西部有许多泉水出露,如保定的一亩泉、石家庄的威州泉、邢台的百泉和邯郸的黑龙洞泉等。

近 30 年来,由于大量超采地下水,地下水位大幅度下降,2005 年平原区浅层地下水埋深平均下降到 14.87 m,深层地下水位累计下降 33 m。在高强度开采区已形成大范围的地下水位降落“漏斗”,其中浅层地下水位下降漏斗面积为 $12\,645 \text{ km}^2$,深层地下水下降漏斗面积达 $43\,915 \text{ km}^2$,成为全国最大、世界罕见的地下水开采漏斗区。由于地下水位不断下降,平原的自流井和自流泉已经不复存在,并引发地面沉降、地裂缝等一系列环境地质灾害。1989~1999 年我省平原地面沉降大于 200 mm 的面积已达 $4.2 \times 10^4 \text{ km}^2$,目前已形成沧州、衡水、任丘、南宫、保定、霸州、曲周和唐海 8 个主要沉降区。平原上已发现地裂缝 402 条,较严重的地面塌陷 20 处。

3.4 水资源大幅度减少,水资源供需矛盾日益加大

近 50 年来,河北省水资源大幅度减少。1956~1959 年全省地表水资源量为 $204.4 \times 10^8 \text{ m}^3$,而 1990~2000 年间降到 $107.1 \times 10^8 \text{ m}^3$,2001~2005 年又减少到 $48.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ (表 1),仅是 1956~1959 年期间年均值的 23.8%。全省水资源总量也从 1956~1959 年的 $273 \times 10^8 \text{ m}^3$ 下降到 1990~2000 年间的 $190 \times 10^8 \text{ m}^3$,2001~2005 年更减少到 $127.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

1949 年以来,河北省用水量随着经济社会的发展,逐年增长趋势明显 (图 5)。20 世纪 50 年代初全省实际用水量约 $40 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右,1950~

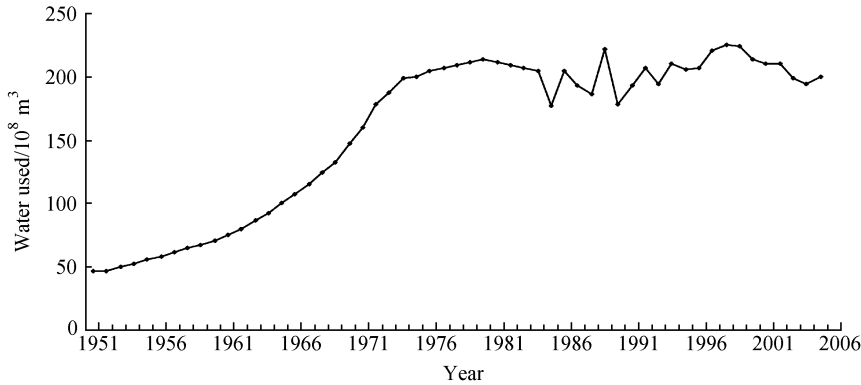


图 5 历年用水增长趋势
Fig. 5 The annual change of used water

表 1 河北省各年代水资源量均值对比
Table 1 Comparison of water resource amount in different decades of Hebei Province

时段	地表水资源量		水资源总量	
	均值	均值比	均值	均值比
1956~2000 年	120.4		204.9	
1956~1959 年	204.4	1.7	273.0	1.33
1960~1969 年	136.3	1.13	225.3	1.10
1970~1979 年	127.8	1.06	216.2	1.05
1980~1989 年	78.0	0.65	151.0	0.74
1990~2000 年	107.1	0.89	190.6	0.93
2001~2005 年	48.7	0.40	127.7	0.62

1956 年为需水增长初期，年平均增长率约 3.49%，1957~1979 年为增长高速期，由 1956 年 $57\times10^8\text{ m}^3$ ，增加到 1979 年 $210\times10^8\text{ m}^3$ ^[7]。80 年代以后，水资源的需求量继续加大，不得不大力开发地下水资源和广泛开展节水工作，1999 年实际用水量 $224.83\times10^8\text{ m}^3$ ，比 50 年代增长近 5 倍。

由于需水量大幅度增加而水资源量不断减少，水资源供需矛盾不断加剧。50 年代初全省实际用水量仅占地表水资源量的 20% 左右，80% 的地表水都是生态用水，因此当时呈现“到处是水”的景象。现在全省实际年用水量 $210\times10^8\text{ m}^3$ 左右，是 2001~2005 年平均地表水资源的 4.3 倍。根据水资源开发利用现状分析可知，现状平水年（保证率 $P=50\%$ ）全省可供水量仅有 $167.12\times10^8\text{ m}^3$ ，总需水量（不含生态环境用水）高达 $249.4\times10^8\text{ m}^3$ ，各分区缺水量之和为 $89.72\times10^8\text{ m}^3$ ，缺水率为 36%；现状偏枯水年（ $P=75\%$ ）缺水率为 50%，均属严重缺水状态。现在该省几乎到

了无水不用的地步，水资源紧缺已成为经济发展的主要制约因素。

3.5 土地干化

土壤湿度的变化是确定干旱化趋势最直接有效的指标。由于地下水位明显下降，包气带大大增厚，削弱了地下水对土壤水分的调节功能，使土壤水分降低，保持高水分的时间缩短。再加上降水减少和气温升高的影响，本区土壤湿度必然减少。有关研究利用 1 km 分辨率的 NOAA/AVHRR 资料对我国北方土壤湿度进行监测，结果表明在 1988~1995 年及 1999 年各年 7 月中，河北土壤湿度有下降趋势^[8]。

土地干化趋势也可从历年旱涝灾害变化状况得到佐证。1949~1964 年，该省以涝灾为主，平均每年洪涝成灾面积 $128\times10^4\text{ hm}^2$ ，而同期年均旱灾面积仅有 $22.3\times10^4\text{ hm}^2$ 。随后情况发生了相反的变化，特别是 20 世纪 80 年代以来，年均洪涝灾面积降为 $22.8\times10^4\text{ hm}^2$ ，但旱灾面积增至 $135.9\times10^4\text{ hm}^2$ 。

3.6 生态系统退化

干旱化导致生态环境恶化，直观表现是土地沙化和草原退化。我省沙化土地面积已经由 1949 年的 $122.6\times10^4\text{ hm}^2$ 增加到 20 世纪 90 年代中期的 $272\times10^4\text{ hm}^2$ ，占全省土地总面积的 14.5%。其中坝上地区沙化最为严重，张北、康保和尚义 3 县沙化面积由 1958 年的近 $3\times10^4\text{ hm}^2$ ，增加到 $67\times10^4\text{ hm}^2$ ，沙化面积扩大了近 22 倍^①。

① 河北省林业勘察设计院. 河北省沙漠化土地普查报告. 1995. 1~20

草原面积日益减少, 20 世纪 50 年代初坝上地区草场面积为 $86 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 目前已减少到 $51 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。草原严重退化, 草场覆盖度由 20 世纪 50 年代的 90% 降低到 44%, 草高由 60~80 cm 降低到 15~20 cm, 产草量由 $4\,200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 降低到 $675 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ①。

2000 年后, 该省沙尘天气频繁发生, 未来可能进入新一轮沙尘暴的活跃期。这跟生态系统退化有关。

4 干旱化发生原因

区域干旱化是陆表过程诸因素相互作用影响的结果, 它的发展过程不仅取决于环境系统干湿变化的自然规律, 而且受到全球变暖和当地人类活动的影响。

4.1 自然因子

降水减少和气温升高既是干旱化的一种表现, 又是干旱化发展的重要条件。分析河北省近 56 年干旱化特点可知, 20 世纪 50 和 60 年代为该省气候的多雨低温期, 70 年代后进入少雨高温期, 这时干旱化呈显著发展趋势。上述的气候变化跟大气环流、海温和高原积雪异常等有关。

4.1.1 大气环流年代际变化

环流异常是气候变化的直接原因, 河北省位于东亚季风区, 必然受东亚季风波动的强烈影响。通过分析近 50 年来华北降水年代际变化与东亚夏季风之间关系得知^[9,10]: 20 世纪 50 年代至 60 年代中期东亚夏季风 (HBV) 偏强, 在 60 年代中期和 70 年代末分别发生了两次突变, 它们都是季风的年代际衰变, 其演变特征与华北降水年代际变化非常相似, 这表明近 30 年东亚夏季风的年代际衰变可能是华北持续干旱的大气环流背景, 是华北干旱化的主要原因之一。

该省地处中纬度欧亚大陆东岸, 西风带环流和副热带高压是该省气候变化的重要因子。华北降水年代际变化与夏季 500 hPa 高度场西太平洋副高脊线位置的年代际变化密切相关^[11], 1951~1964 年西太平洋副高脊线的位置偏北, 该省降水处于丰水期, 70 年代末到 90 年代西太平洋副高脊

线的位置偏南, 从而输向该省的水汽有所减少, 引起该省发生持续干旱。

该省汛期降水除受暖湿夏季风影响外, 还需要西风带冷空气活动的配合, 因此, 汛期降水多寡与中高纬大气环流异常有关^[12]。近 20 年随着全球变暖的加剧, 我国西北和蒙古国 500 hPa 位势高度明显上升, 导致亚洲中纬度准定常波减弱并发生了系统性东移^[13], 这一方面造成影响河北省的冷空气偏弱, 另一方面削弱了东亚夏季风^[12]。因此, 亚洲中高纬度准定常波的异常可能是影响华北干旱化的一个重要因素。

4.1.2 海温年代际变化

海洋是大气中水汽的主要源地。海温异常必然导致大气环流的异常。Huang^[14]和周连童等^[15]对热带太平洋海表温度 (SST) 资料分析表明: 热带中、东太平洋 SST 异常有明显的年代际变化, 1976 年以前热带中、东太平洋 SST 相对偏冷, 而 1976 年以后 SST 明显增温, 即发生了“年代际的 El Niño 现象”, 相应东亚夏季风出现年代际减弱, 导致输入河北地区的水汽大大减少, 造成了河北省降水量持续减少。

4.1.3 青藏高原积雪年代际变化

青藏高原积雪变化对我国气候变化具有重要的作用。分析青藏高原积雪与河北降水资料可知^[16,17]: 当青藏高原冬春积雪异常多时, 河北省夏季降水偏少; 反之, 则河北省夏季降水偏多。韦志刚等^[18]分析表明, 从 20 世纪 70 年代后半期开始, 青藏高原积雪深度增厚天数增加。这有利于该省降水的减少。

4.2 人类活动的影响

人类活动一直影响着地球的气候和环境, 其影响方式主要是通过改变大气成分和下垫面性质以及水资源利用 3 个途径。工业革命前, 这种影响的规模非常有限, 工业革命以来特别是最近 50 年来, 由于人口增加及社会经济和科学技术的急剧发展, 人类对气候和环境的影响规模和深度发生了空前的变化。人类活动可能已成为本区干旱化发生的重要因子。

4.2.1 大气成分变化的影响

由于人类大量燃烧化石燃料、砍伐森林和土

① 侯秀瑞. 我省土地沙化的严峻形势及防治对策. 2000, 1~6

地利用的变化, 大气中的 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 等温室气体浓度大幅度增加。 CO_2 浓度由工业革命前的 280×10^{-6} 增加到目前全球平均 375×10^{-6} 左右, 并且仍以 $1.5 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$ 左右的速率增长; CH_4 浓度则从 750×10^{-9} 增加到目前的 $1\,750 \times 10^{-9}$ 左右, 从 20 世纪 90 年代开始它呈平缓增加态势; N_2O 浓度也从 288×10^{-9} 增加到目前 320×10^{-9} 左右, 并以 $0.7 \times 10^{-9} \text{ a}^{-1}$ 的速率增长。当前大气中 CO_2 和 CH_4 的浓度在过去的 42 万年中是最大的^[19]。1750~2000 年由于温室气体的增加引起的辐射强迫估计为 $2.43 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ^[20]。近 56 年的气候变暖, 可能主要是由人类活动造成的。

郑益群等^[21]利用包含较详细陆面过程的第二代区域气候模式 RegCM2 模拟了近 140 年来 CO_2 浓度变化对东亚区域气候的影响, 结果表明, 当大气 CO_2 浓度由 280×10^{-6} 增加到 345×10^{-6} 时, 河北地区地面气温将可能上升 $0.3 \sim 0.6 \text{ }^\circ\text{C}$ 。而降水除北部稍有增加外, 大部是减少。由此可见, 工业化造成的 CO_2 浓度增加使本区呈现出干旱化的趋势。

4.2.2 水、土资源利用的影响

建国以来, 河北省发生了巨大的变化。全省人口从 1949 年的 3 086 万增加到 2005 年的 6 851 万, 国内生产总值从 1949 年的 31.8 亿元增加到 2005 年的 10 096.1 亿元, 同期有效灌溉面积由 $77 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 增加到 $447 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 粮食总产量由 469.5 万吨增加到 2 598.6 万吨。随着人口的增加和社会经济的发展, 生活和生产用水量大幅度增长, 从 20 世纪 50 年代初全省年实际用水量 $40 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右增加到目前的 $200 \times 10^8 \sim 210 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

现在年用水量远远超出了区域水资源承载能力, 即使不考虑环境用水, 现状平水年 ($P = 50\%$) 缺水近 $89.72 \times 10^8 \text{ m}^3$, 主要集中于海河南系平原。由于地表水严重不足, 该省社会经济发展被迫靠大量超采地下水维持, 目前地下水供水量已占总用水量的 78.5%。地下水超采, 使得地下水位持续下降, 土壤从浅层 (0~5 cm) 到深层 (90~100 cm) 明显变干^[22]。超负荷开发利用水资源引起下垫面条件的改变, 一方面使得地表水资源和地下水资源量减少, 另一方面又通过陆气间水热交换反馈给大气, 陆气间的感热交换增加, 潜热交换减少, 加快了局域气候干旱化^[23]。

有关遥感监测表明^[9]: 农业植被下的土壤湿度的下降趋势大于自然植被带和无植被带下的土壤, 而且年际变化显著增大。这表明农业活动加大了土壤水分的消耗。耕地的大量增加、过度放牧和砍伐森林, 造成了自然植被和土壤结构的破坏, 改变了下垫面参数导致地表温度升高和降水减少, 这加剧了干旱化的形成和发展。

5 结论与讨论

通过以上讨论, 可以得出以下几点结论:

(1) 近 56 年来, 河北省气温不断升高, 降水持续减少, 该省气候由冷湿期转为暖干期。20 世纪 90 年代后期以来, 该省温度升幅和降水减幅进一步增大, 使得气候干旱化的趋势越来越强烈。

(2) 河北省生态环境、特别是水环境在同期严重恶化。在 20 世纪 50 和 60 年代, 河北平原湖泊众多, 湿地相连, 河道水流充沛有通楫之便; 现今湖淀干涸, 湿地严重萎缩, 河道断流, 海河南系近 20 年来几乎没有河水入海。地下水环境由丰水区变成了特大超采漏斗区。土地干化, 植被退化, 沙化面积比建国初扩大了 1.22 倍, 草原面积减少了 41%。由此可见, 区域环境干旱化形势非常严峻。

(3) 河北省现代干旱化的成因有自然因子和人为因素两方面。年代际气候变化的自然因子主要包括大气环流年代际变化、青藏高原积雪和海温年代际异常以及太阳辐射变化等因子。人类活动影响主要是通过改变大气成分和下垫面性质以及水资源利用 3 个途径实现的。超负荷的水资源开发利用可能已成为河北地区干旱化的重要原因。

参考文献 (References)

- [1] 章芳, 苏炳凯. 我国北方干旱化趋势的预测. 高原气象, 2002, **21** (5): 49~57
Zhang Fang, Su Bingkai. The prediction of aridification tendency in north China. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2002, **21** (5): 49~57
- [2] 李庆祥, 刘小宁, 李小泉. 近半世纪华北干旱化趋势研究. 自然灾害学报, 2002, **11** (3): 51~57
Li Qingxiang, Liu Xiaoning, Li Xiaoquan. Drought trend in North China in recent half century. *Journal of Natural*

- Disasters* (in Chinese), 2002, **11** (3): 51~57
- [3] 符淙斌, 安芷生. 我国北方干旱化研究——面向国家需求的全球变化科学问题. 地学前缘, 2002, **9** (2): 28~32
Fu Congbin, An Zhisheng. Study of aridification in northern China — A global change issue facing directly the demand of nation. *Earth Science Frontiers* (in Chinese), 2002, **9** (2): 28~32
- [4] 赵聚宝, 李克煌. 干旱与农业. 北京: 中国农业出版社, 1995. 74~76
Zhao Jubao, Li Kehuang. *Drought and Agriculture* (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1995. 74~76
- [5] 河北经济年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2006, **22**: 251~369
Hebei Economic Yearbook (in Chinese). Beijing: China Statistics Press, 2006, **22**: 251~369
- [6] 李英华, 崔保山, 杨志峰. 白洋淀水文特征变化对湿地生态环境的影响. 自然资源学报, 2004, **19** (1): 62~68
Li Yinghua, Cui Baoshan, Yang Zhifeng. Influence of hydrological characteristic change of baiyangdian on the ecological environment in wetland. *Journal of Natural Resources* (in Chinese), 2004, **19** (1): 62~68
- [7] 孙雪峰. 河北省开源节流与南水北调. 河北水利水电技术, 2000, 增刊: 48~50
Sun Xuefeng. Found new sources and reduce waste and south-to-north water diversion. *Hebei Water Resources and Hydropower* (in Chinese), 2000, (Suppl.): 48~50
- [8] 周涛, 史培军, 范一大. 中国北方土壤温度变化趋势及人类活动对其影响的研究. 北京师范大学学报, 2002, **38** (1): 131~137
Zhou Tao, Shi Peijun, Fan Yida. The change trend of soil moisture in northern China and the influences of human being on them. *Hebei Water Resources and Hydropower* (in Chinese), 2002, **38** (1): 131~137
- [9] 李新周, 马柱国, 刘晓东. 中国北方干旱化年代际特征与大气环流的关系. 大气科学, 2006, **30** (2): 277~284
Li Xinzhou, Ma Zhuguo, Liu Xiaodong. Inter-decadal characteristics of aridification over northern China associated with the variation of atmospheric circulation during the past 50 years. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2006, **30** (2): 277~284
- [10] 戴新刚, 汪萍, 丑纪范. 华北汛期降水多尺度特征与夏季风年代际衰变. 科学通报, 2003, **48** (23): 2483~2487
Dai Xingang, Wang Ping, Chou Jifan. Flood season precipitation multi-criterion characteristic and summer monsoon age border decay in North China. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 2003, **48** (23): 2483~2487
- [11] 张庆云. 1880 年以来华北降水及水资源的变化. 高原气象, 1999, **18** (4): 486~495
Zhang Qingyun. The variations of the precipitation and water resources in north China since 1880. *Plateau Meteorol-*
- ogy* (in Chinese), 1999, **18** (4): 486~495
- [12] 赵声蓉, 宋正山. 华北汛期旱涝与中高纬大气环流异常. 高原气象, 1999, **18** (4): 535~540
Zhao Shengrong, Song Zhengshan. Floods and droughts in northern China and general circulation anomalies over middle and high latitudes. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1999, **18** (4): 535~540
- [13] 曾红玲, 高新全, 戴新刚. 近 20 年全球冬季海平面气压场和 500 百帕高度场年代际变化特征分析. 高原气象, 2002, **21** (1): 68~75
Zeng Hongling, Gao Xinquan, Dai Xingang. Analyses on interdecadal change characteristics of global winter and summer sea surface pressure field and 500 hPa height field in recent twenty years. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2002, **21** (1): 68~75
- [14] Huang Ronghui. Decadal variability of the summer monsoon rainfall in East Asia and its association with the SST anomalies in the tropical Pacific. *CLIVAR Exchange*, 2001, **2**: 7~8
- [15] 周连童, 黄荣辉. 关于我国夏季气候年代际变化特征及其可能成因的研究. 气候与环境研究, 2003, **8** (3): 274~290
Zhou Liantong, Huang Ronghui. Research on the characteristics of interdecadal variability of summer climate in China and its possible cause. *Climate and Environmental Research* (in Chinese), 2003, **8** (3): 274~290
- [16] 黄荣辉, 蔡榕硕, 陈际龙, 等. 我国旱涝气候灾害的年代际变化及其与东亚气候系统变化的关系. 大气科学, 2006, **30** (5): 730~743
Huang Ronghui, Cai Rongshuo, Chen Jilong, et al. Inter-decadal variations of drought and flooding disasters in China and their association with the east asian climate system. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2006, **30** (5): 730~743
- [17] 肖嗣荣, 张可慧. 青藏高原冬季积雪与河北省夏季降水. 灾害学, 1999, **14** (2): 23~26
Xiao Sirong, Zhang Kehui. Snow cover on the qinghai xizang plateau in winter and the precipitation in hebei province in summer. *Journal of Catastrophology* (in Chinese), 1999, **14** (2): 23~26
- [18] 韦志刚, 黄荣辉, 陈文, 等. 青藏高原地面站积雪的空间分布和年代际变化特征. 大气科学, 2002, **6** (4): 66~78
Wei Zhigang, Huang Ronghui, Chen Wen, et al. Spatial distributions and interdecadal variations of the snow at the tibetan plateau weather stations. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2002, **6** (4): 66~78
- [19] 任国玉, 徐德应, 石广玉, 等. 人类活动在气候变化中的作用. 见: 秦大河主编, 中国气候与环境演变 (上卷): 气候与环境的演变及预测. 北京: 科学出版社, 2005. 455

~506

Ren Guoyu, Xu Deying, Shi Guangyu, et al. Anthropogenic impact on the climate change. In: *The Climate and Environment Change in China: The Evolution and Prediction of Climate and Environment* (in Chinese), Qin Dahe, Ed. Beijing: Science Press, 2005. 455~506

[20] 高峰, 孙成权, 曲建升. 全球气候变化研究的新认识——IPCC 第三次气候评价报告第一工作组报告概要. 地球科学进展, 2001, **16** (3): 442~445

Gao Feng, Sun Chengquan, Qu Jiansheng. The new understanding of the whole world climatic change studies — The outline of the first work team reports in the report of IPCC third climate appraisal. *Advances in Earth Science* (in Chinese), 2001, **16** (3): 442~445

[21] 郑益群, 于革, 王苏民, 等. 140 年来植被和大气 CO₂ 浓度变化对东亚气候影响的数值模拟. 自然科学进展, 2003, **13** (9): 951~956

Zheng Yiqun, Yu Ge, Wang Sumin, et al. Numerical simulation of the effect of vegetation and atmospheric CO₂ density change to east asia weather. *Progress in Natural Science* (in Chinese), 2003, **13** (9): 951~956

[22] 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** (3): 278~287

Ma Zhuguo, Wei Helin, Fu Congbin. Relationship between regional soil moisture variation and climatic variability over east China. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2000, **58** (3): 278~287

[23] 周爱国, 徐恒力, 陈刚. 北方地区地下水系统退化的气候干旱化效应. 地球科学—中国地质大学学报, 2000, **25** (5): 510~513

Zhou Aiguo, Xu Hengli, Chen Gang. Local climate drying effect from groundwater system degradation in northern China. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences* (in Chinese), 2000, **25** (5): 510~513