

黄河上游流域蒸散量及其影响因子研究

李 林 张国胜 汪青春 时兴合

(青海省气象局, 西宁 810001)

提 要

利用彭曼公式计算 80 年代以来黄河上游流域蒸散量, 分析了该地区蒸散量、日照时数、气温、空气饱和差等气候因子的变化趋势, 并着重研究了诸因子对蒸散量的影响。研究发现, 黄河上游流域蒸散量呈逐年增大趋势, 并以每年 3.25 mm 的速度递增; 而作为主要影响因子的日照时数则以每年 3.6 小时的速度增加; 气温同样表现出逐年升高的趋势, 其气候倾向率为 $0.4^{\circ}\text{C}/10$ 年; 空气饱和差也以每年 0.02 的速度递增; 因此, 可以认为, 黄河上游流域日照时数、气温及饱和差的增加, 加剧了草地蒸散量的增大, 而蒸散量的增大和降水量的减少则直接影响到了黄河上游流量的减少和草地荒漠化的蔓延。

关键词: 黄河上游 彭曼公式 蒸散量

引 言

黄河上游地区地处青海省南部高原, 该地区河流密布, 湖泊众多, 水资源十分丰富。同时, 该地区又拥有较为丰富的草地资源和广袤的可利用草场, 是作为全国五大牧区之一青海省的主要牧业生产基地。但是, 近年来由于牲畜超载、鼠害泛滥以及采药取矿等人类作用于草原体的活动的增多和对水资源的不合理利用, 加之气候干旱, 致使该地区出现了河流断流、湖泊萎缩、湿地干涸、草地退化、土壤沙化等一系列的生态蜕变, 对畜牧业的发展和水力水电工业产生了严重影响。因此, 从气候变化的角度研究和分析这一生态环境不断恶化的气候成因, 进而提出科学的防御对策和治理措施, 是摆在气象工作者面前的一项亟待解决的科研任务。鉴于这一目的, 文献[1, 2]着重研究了气候变化特别是气温和降水量变化对水资源和草地生态系统的影响, 但就水资源平衡关系而言, 影响河流流量和草地水分供给的气候因子除气温和降水

外, 流域蒸散量则是一个不可忽视的影响因子。但是, 有关研究发现, 利用 20cm 口径蒸发器测定的蒸发量却在逐年减少, 这一现象很难解释日益严重的干旱对生态环境产生的负面影响。为此, 本文试图利用彭曼公式计算出黄河上游流域的蒸散量, 在较为科学的分析蒸散量及其影响因子的变化趋势的基础上, 研究蒸散量对黄河上游流量和草地生态系统的影响, 进而为扼止黄河流量减少和生态环境恶化提供科学依据。

2 资料与计算方法

2.1 资料

考虑到黄河上游年径流量的 76% 集中在 5~10 月份, 而牧草的主要生长季也在该时段, 为此, 选取了地处黄河上游上、中、下段的甘德 ($33^{\circ}58'N, 99^{\circ}54'E$)、河南 ($34^{\circ}44'N, 101^{\circ}36'E$)、同德 ($35^{\circ}16'N, 100^{\circ}39'E$) 三站 1981~1998 年 5~10 月份气温、降水、日照时数、水汽压、风速等气候要素的逐年平均值代表黄河上游流域进行计算。

2.2 计算方法

2.2.1 草地实际蒸散量的计算

采用联合国粮农组织改进后的有植物覆盖的彭曼公式^[3]:

$$E_p = F \cdot \{P_0/P \cdot \Delta/\gamma[R_N(1-A) \\ (a + bn/N) - \sigma T_K^4(0.56 - 0.79\sqrt{e_d})] \\ (0.10 + 0.90n/N) + 0.26(e_a - e_d) \\ (1 + CU_2)\} / (P_0/P \cdot \Delta/\gamma + 1) \quad (1)$$

式中: P_0 为海平面平均气压(hPa), P 为气象台站平均气压(hPa), R_N 为天文辐射值($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$), A 为地表反射率, 有植物覆盖时取 0.20, $\gamma = 0.66$; a, b 为根据日照时间估算总辐射的系数(具体数值见表 1), n 为日照时数, N 为日可照时数, σT_K^4 为气温为 T_K 时的黑体辐射, Δ 可通过下式求得:

$$\Delta = de_a/dT_a = e_a/273 + T_a[6463/(273 + T_a) - 3.927] \quad (2)$$

表 1 5~10 月计算总辐射的 a, b 系数

月份	5	6	7	8	9	10
a	0.03	0.07	0.11	0.04	0.12	0.09
b	0.73	0.65	0.54	0.68	0.57	0.60

化为蒸发当量(mm), $T_K = T_a + 273$ 为绝对温度, σ 为斯蒂芬-波尔兹曼常数 $2.01 \times 10^{-9} \text{mm}/(\text{a} \cdot \text{K}^4)$, e_a 为饱和水汽压(hPa), e_d 为实际水汽压(hPa), U_2 为距地面 2m 高的平均风速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), 可折算为 10m 高处的风速, 即 $U_2/U_{10} = (\lg Z_1 - \lg Z_0)/(\lg Z_2 - \lg Z_0) = 0.72U_{10}$, F 为因作物而异的栽培系数, 考虑到黄河上游多为天然草场, 其具体数值见表 2。

表 2 5~10 月份草地栽培系数

月份	5	6	7	8	9	10
F	0.75	0.80	0.90	1.0	0.80	0.70

2.2.2 差积曲线

为消除气候变量年变差系统的影响, 增强两变量间的可比性, 本文利用差积曲线对日照时数和蒸散量作归一化处理, 其纵坐标可表示为 $\sum (K - 1)/Cv$, 其中:

$$K = X_i/\bar{x} \quad (3)$$

$$Cv = \sigma_x/\bar{x} \quad (4)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)} \quad (5)$$

3 结果分析

3.1 蒸散量变化特征

3.1.1 蒸散量年际变化趋势

图 1 给出了 1981~1998 年黄河上游流域蒸散量变化曲线。从中可以看出, 除年际间的微小波动外, 黄河上游流域蒸散量呈现出逐年上升趋势, 其上升趋势进入 90 年代后表现的尤为明显。通过距平分析同样发现, 黄河上游流域蒸散量距平百分率一般都在 $\pm 5\%$ 以内, 其年变差系数为 0.045, 说明年际间的变化较小。而在 1981~1998 年的 18 年间, 蒸散量出现负距平的年份为 10 年, 正距平的年份为 8 年, 正、负距平出现频率基本相当, 但负距平主要出现在 90 年代以前, 而正距平主要出现在 90 年代, 其中在 90 年代的 9 年正距平就出现了 6 年, 出现频率达 66% 以上。另外, 通过计算气候倾向率得出, 黄河上游流域蒸散量以每 10 年 32.5mm 的速率上升。

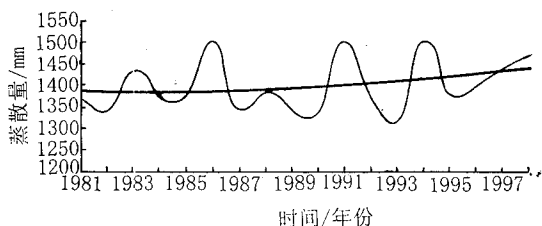


图 1 1981~1998 年黄河上游流域蒸散量变化趋势

拟合线方程为: $y = 0.3355x^2 - 3.1275x + 1390.2$

3.1.2 蒸散量年内变化

图2给出了5~10月黄河上游流域蒸散量变化曲线及其趋势。从中可以看出,蒸散量变化趋势自5月份起逐步上升,至8月份达到最大值后,又开始下降,到10月份达到最小值。值得一提的是,6月份蒸散量较相邻月份低,这与入汛后黄河上游流域降水日数增多,降水量增大,日照时数相对较小不无关系。

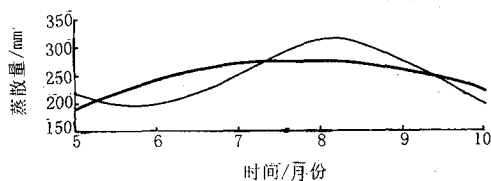


图2 5~10月黄河上游流域蒸散量变化曲线及趋势

拟合线方程为: $y = -11.435x^2 + 85.477x + 117.04$

3.2 气候因子对蒸散量的影响分析

蒸散过程通常受到能量供给条件、水汽输送条件与蒸发介质的供水能力等三方面物理因素的影响,其能量供给条件主要源于太阳净辐射,水汽输送条件取决于饱和差及风速的大小,而蒸发介质的供水能力则由下垫面性质及植物的栽培系数决定,其中太阳净辐射又受日照时数及气温等因子的影响。同样,由式(1)也可以看出,影响蒸散量的主要气候因子有日照时数、饱和差、气温、风速等。通过相关分析发现,蒸散量与日照时数、饱和差及气温的相关系数分别为0.86、0.31、0.16,诸气候因子对蒸散量的具体影响如下。

3.2.1 日照时数对蒸散量的影响

日照时数对蒸散量的影响,首先是通过影响太阳净辐射的大小,继而作用于蒸散过程的能量供给条件,最终对蒸散量产生影响。一般说来,日照时数越大,太阳净辐射值便越大,蒸散过程的能量供给就越充分,蒸散量也随之增大;反之,则蒸散量减小。黄河上游流域日照时数变化趋势如图3所示。由图3可

见,自1981年以来,该地区日照时数呈逐年上升趋势,进入90年代后上升趋势更为明显,其气候倾向率达3.6小时/年,也就是说日照时数每年以3.6小时的速率上升。如上所述,日照时数与蒸散量的相关系数为0.86,且通过0.01信度检验。这说明,日照时数对蒸散量有着显著影响。

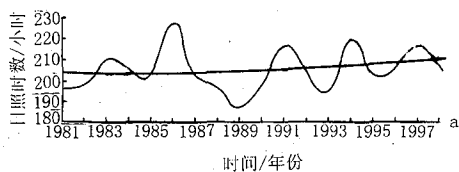


图3 1981~1998年黄河上游流域日照时数变化趋势

拟合线方程为: $y = 0.031x^2 - 0.2249x + 204.11$

为更确切的说明日照时数对蒸散量的影响,图4给出了黄河上游流域1981~1998年日照时数和蒸散量的差积曲线。从图4不难看出,除个别年份外,蒸散量和日照时数的变化曲线及其趋势是一致的,而且蒸散量的变幅较日照时数变幅大,其年际间的波动也较日照时数的波动滞后。同时,分析蒸散量和日照时数的变化趋势还可发现,蒸散量趋势线80年代较日照时数趋势线低,而90年代又高出日照时数趋势线,说明蒸散量的上升幅度较日照时数的上升幅度大,进而证明了影响蒸散量的主要气候因子是日照时数。

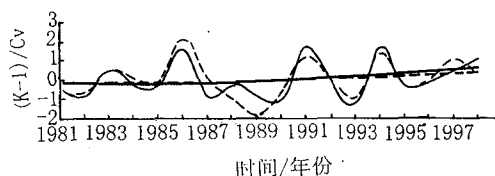


图4 1981~1998年黄河上游蒸散量(实线)与日照时数(虚线)的差积曲线

3.2.2 气温对蒸散量的影响

气温是影响大气-土壤边界上物质与能量交换的一个气候特征量,是蒸散过程中能量供给条件的影响因子之一,气温越高,太阳净辐射可化为蒸散当量的数值就越高。图5给出了黄河上游流域1981~1998年年平均气温变化趋势。利用多项式模拟的趋势线,呈现出强劲的上升趋势,说明黄河上游流域平均气温是明显升高的,其气候倾向率高达 $0.4^{\circ}\text{C}/10$ 年。文献[4]通过数值模拟得出:平均气温升高 2°C 和 4°C ,蒸散量则分别增加 4.2% 和 8.5% ,据此,由于黄河上游流域平均气温的逐年上升,至少使流域蒸散量每10年以 0.8% 的速度增大。

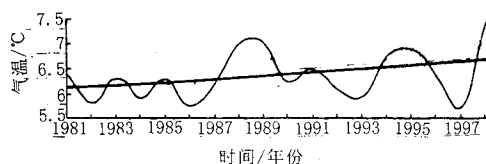


图5 1981~1998年黄河上游流域气温变化趋势

拟合线方程为: $y = 0.0006x^2 + 0.0215x + 6.0902$

3.2.3 空气饱和差对蒸散量的影响

空气饱和差是影响蒸散过程水汽运移条件的主要因素。式(1)表明,随着空气饱和差的增大,蒸散量也相应地在增大。图6给出了黄河上游流域空气饱和差变化趋势,可以发现,该地区空气饱和差在逐年增大,其增幅约为 $0.2\text{hPa}/10$ 年。这说明黄河上游流域空气饱和差的增大,加剧了蒸散量的增大。

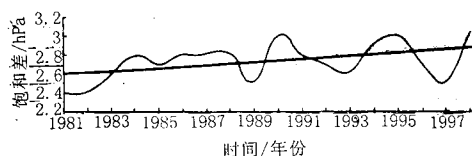


图6 1981~1998年黄河上游流域饱和差变化趋势

3.3 干旱气候对径流量的影响

水资源收支平衡式: $B = Q - R - E - W$,当流域处于稳定状态时, $\Sigma B = 0$,则 $Q = R - E - W$ 。即流域径流量等于降水量减去蒸散量与土壤含水量变化值之和,而土壤含水量变化值通常较小,可忽略不计,因此,降水量与蒸散量的大小决定了流域径流量的丰枯。根据1981~1998年黄河上游流域降水量变化趋势(图略),可以看出,该地区降水量自80年代以来呈逐年减少趋势,且其气候倾向率高达 $44.7\text{mm}/10$ 年,即降水量以每10年 44.7mm 的速率减少。

综上所述,黄河上游流域日照时数、气温及空气饱和差的增大,导致了草地蒸散量的加大,而蒸散的增大和降水量的减少,加剧了黄河上游气候的干旱化,最终造成了流域流量的减少和草地荒漠化的蔓延。同时,由于黄河在青海出境时的流量为整个黄河流域的 49.2% ,因此,可以说黄河上游气候干旱化的发展,是黄河断流的最主要气候原因。

4 结 论

(1)黄河上游流域蒸散量呈逐年增大趋势,并以每年 3.25mm 的速度递增;其年内变化自5月份起呈上升趋势,至8月份出现最大值后开始下降,到10月份达到最低值。

(2)影响蒸散量的气候影响因子有日照时数、气温、空气饱和差等。

(3)黄河上游流域日照时数呈逐年上升趋势,且以每年 3.6 小时的速度增加。

(4)黄河上游流域气温同样表现出逐年升高的趋势,其气候倾向率为 $0.4^{\circ}\text{C}/10$ 年。

(5)黄河上游流域空气饱和差也以每年 0.02hPa 的速度递增。

(6)蒸散量的增大和降水量的减少则直接影响到黄河上游流量的减少和草地荒漠化的蔓延,最终导致黄河断流现象的发生。

参考文献

- 1 张国胜,李希来,李 林等. 青南高寒草甸斑秃地形成的气象条件分析. 中国草地,1998,6:12~16,24.
- 2 李 林,张国胜,汪青春等. 青海省地表水资源的变化及影响因子. 气象,1999,25(8):11~15.
- 3 谢贤群,左大康,唐登银. 农田蒸发测定与计算. 北京:气象出版社,1991:134~142.
- 4 施雅风. 气候变化对西北华北水资源的影响. 济南:山东科学技术出版社,1995:275~277.

Dry Climate Impact on Evapotranspiration in the Upper Valley of the Huanghe River

Li Ling Zhang Guosheng Wang Qingchun Shi Xinh

(Qinghai Meteorological Bureau, Xining 810001)

Abstract

Penman formula was used to calculate the evapotranspiration in the upper valley of the Huanghe river since 1980. The variation tendency of some climatic factors, such as evapotranspiration, sunshine duration, air temperature, air saturation deficit and etc, were analysed. The dry climate impact on the evapotranspiration in the area was focused in the study. The results show that the evapotranspiration is increasing annually with the speed of 3.25 mm in the area; while the sunshine duration which is considered as main impact factor, is increasing with 3.6 hour/year; air temperature is appearing the increasing tendency, and its climatic tendency is 0.4℃/10 years; air saturation deficit is increasing with 0.02/year. Therefore, It is suggested that the evapotranspiration is greatly increasing as increment of sunshine duration, air temperature and air saturation deficit in the area. But the increment of evapotranspiration and decrement of precipitation amount impact directly on the decrement of flow curve and expanding of grassland's desertization in the upper valley of the Huanghe river.

Key Words: dry climate the upper valley of Huanghe Penman formula
evapotranspiration