人类活动导致 500 年来黄河径流和泥沙空前减少

刘禹

中国科学院地球环境研究所, 西安 710061

E-mail: liuyu@loess.llqg.ac.cn

Recent anthropogenic curtailing of Yellow River runoff and sediment load is unprecedented over the past 500 years

Yu Liu

Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, China

E-mail: liuyu@loess.llqg.ac.cn

doi: 10.1360/TB-2020-1018

黄河是中华文明的摇篮,也是世界上含沙量最大、落差最大的大河。虽然黄河仅占我国水资源的 3%,却灌溉了我国约 13% 的耕地^[1]。历史时期黄河水患无穷,给沿河的农业、社会繁荣以及人民生命财产带来极大的损失。20 世纪 90 年代以来,黄河径流量急剧减少,下游发生多次严重的断流,对当地的农业、工业和人民生活带来极大影响^[2,3],黄河的管理已经从以前的防洪变为目前的防断流。与此同时,近 30 年来黄河泥沙含量也急剧减少,严重威胁流域生态系统,尤其是黄河三角洲的稳定^[4,5]。现有最早的黄河径流量记录始于 1919 年,20 世纪 60 年代以来多个规模宏大的拦水大坝的兴建以及引黄灌溉规模的扩大,使得黄河径流量已经大大偏离了正常波动范围,严重影响了人们对黄河径流变化规律和机制的理解。因此,对于黄河中游地区历史上天然径流量的重建和恢复是目前亟须解决的重要问题。

树木年轮具有定年准确、分辨率高且易重复的特点,被广泛用来进行过去气候及河流径流量重建。为此我们在 2018 年 6 月利用多点树轮资料重建了黄河中游过去 500 多年天然径流量变化,并定量计算出近几十年人类活动耗水量^[6];在此基础上,经过科学系统分析后,最终选择了黄河中上游-中游流域内 31 地点的 860 棵树的 1707 棵树芯,建立了树轮宽度年表,并将其与黄河三门峡水文站没有建坝前的 1919~1960 年观测径流量进行拟合,重建了黄河中游过去公元 1492~2013 年天然径流变化序列(图 1)^[7]。

研究发现,历史时期的高/低径流时段与文献记载的黄河泛滥/黄河流域大旱事件相一致;1928~1929 年的黄河天然径流量(257 亿立方米)是过去 500 余年来的径流最低

值,1781 年是过去 500 余年来径流最高值(588 亿立方米),可作为未来水利工程设计和水资源管理的基准标尺。

由于黄河流域季风降水减少和人类活动特别是农业灌溉耗水量增加,20 世纪 90 年代末以来实际观测到的黄河年径流量远低于天然径流量的变化范围。20 世纪 30 年代以前天然径流量的 24 和 10 年的固有周期(存在了 400 余年)已不复存在。90 年代以后,黄河实际观测径流(平均 225 亿立方米)完全处于枯水区间,降到了史无前例的水平,比历史上最低的 20 世纪 20 年代末还要低,引起下游山东多地断流天数不断增加,几乎无水可用。严重影响了山东省的工农业生产。重建结果显示,理论计算天然黄河径流量在该时段也呈下降趋势,但远高于观测序列,我们认为两个序列的差值主要是由人类活动消耗大量黄河水所导致。因此,我们利用二者之差计算了 1960 年以来年黄河水量盈亏(即人类活动耗水量)变化历史。结果表明,人类活动耗水量与宁夏和内蒙古农灌区逐年灌溉面积及农作物总产量显著正相关,分别达到 0.66 和 0.63,表明农业灌溉消耗了大量的黄河水量。计算还表明人类活动耗水量的急剧增加与头道拐和三门峡泥沙含量剧烈减少显著负相关。人类耗水量的增加导致头道拐含沙量减少了 58%、三门峡减少了 29%。耗水量增加,中上游剩余径流减少,水动力减弱,导致泥沙含量减少。当然,“退耕还林草”等政策的实施也是入河泥沙减少的另一个重要原因^[8]。如果主产流区降水持续减少,人类耗水量继续增加,未来黄河的径流量将会持续降低,这将对中下游农业、社会经济发展和人类生活带来灾难性影响。为此,相关部门应该合理规划分水方案以平衡农业、工业和生态系统的用水需求。

我们的研究为在全球变化研究中区分自然变化和人类

图 1 黄河中游三门峡水文站理论计算年(上年 8 月至当年 7 月)天然径流量序列(红色, 公元 1492~2013 年)和实际径流观测序列(蓝色, 公元 1919~2013 年)

Figure 1 Hydrological year (previous August to current July) runoff reconstruction at the Sanmenxia Gauge Station in the middle reach of the Yellow River (the red curve, 1492–2013 AD) and the observed annual runoff (the blue curve, 1920–2013 AD)

类影响、量化人类活动提供了一个实例, 也为黄河水资源管理提供了重要基础数据, 对评估黄河长期水文变化趋势

和流域治理策略的制定具有重要意义. 相关成果发表在《美国国家科学院院刊》(*Proc Natl Acad Sci USA*)上.

致谢 感谢中国科学院前沿重点研究计划(QYZDJ-SSW-DQC02)、国家自然科学基金重点项目(41630531)和中国科学院战略性先导科技专项(XDB40010300, XDA23070 202)资助.

推荐阅读文献

- 1 Ren D Y, Xu X, Hao Y Y, et al. Modeling and assessing field irrigation water use in a canal system of Hetao, upper Yellow River basin: Application to maize, sunflower and watermelon. *J Hydrol*, 2016, 532: 122–139
- 2 Bianchi T S, Allison M A. Large-river delta-front estuaries as natural “recorders” of global environmental change. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2009, 106: 8085–8092
- 3 Chen Y, Syvitski J P M, Gao S, et al. Socio-economic impacts on flooding: A 4000-year history of the Yellow River, China. *Ambio*, 2012, 41: 682–698
- 4 Wang H, Bi N, Saito Y, et al. Recent changes in sediment delivery by the Huanghe (Yellow River) to the sea: Causes and environmental implications in its estuary. *J Hydrol*, 2010, 391: 302–313
- 5 Yu Y, Wang H, Shi X, et al. New discharge regime of the Huanghe (Yellow River): Causes and implications. *Cont Shelf Res*, 2013, 69: 62–72
- 6 Liu Y. Tree rings as chroniclers of Chinese history (in Chinese). In: Abstract Collection of the 10th High-End Forum of Yellow River Studies with Foci on Chinese Change, Yellow River Dynamics and Human Civilization in Central Plain of China. Kaifeng, 2018. 38 [刘禹. 树轮: 中国历史的记录者. 见: 第十届“黄河学”高层论坛暨“气候变化、黄河变迁与中原文明嬗变”国际学术研讨会论文摘要集. 开封, 2018. 38]
- 7 Liu Y, Song H, An Z, et al. Recent anthropogenic curtailing of Yellow River runoff and sediment load is unprecedented over the past 500 y. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2020, 117: 18251–18257
- 8 Wang S, Fu B, Piao S, et al. Reduced sediment transport in the Yellow River due to anthropogenic changes. *Nat Geosci*, 2016, 9: 38–41