

冶河流域径流减少的驱动因素分析

樊 静^{1,2}, 杨永辉¹, 张万军¹

(1. 中科院遗传发育所农业资源研究中心, 河北 石家庄 050021; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 分析了 1970—2000 年滹沱河的重要支流——冶河流域径流减少的主要驱动因子气候和地表覆被的变化趋势及其对流域径流的影响。结果表明, 30 年来, 流域降水量减少, 流域内的年平均气温上升并达到显著水平。流域 1995 年有林地和高覆盖草地所占面积同 20 世纪 80 年代相比大幅减少, 林地和草地的质量有所下降, 到了 2000 年有所回升; 流域内农田的有效灌溉面积逐年增加。同时流域的径流量发生了明显变化: 年均流量自 1966 年以来不断减小, 尤其是 80 年代以后下降趋势更明显, 以致上游长年有水河流部分河段出现了不同程度的断流。

关键词: 气候变化; 地表覆被变化; 径流减少

中图分类号: S162 文献标识码: A 文章编号: 1000—7091(2007)增刊—0175—05

A Study of Changes in Runoff Resulting from Climate and Land Cover Changes in the Yehe Catchment

FAN Jing^{1,2}, YANG Yong-hui¹, ZHANG Wan-jun¹

(1. Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, CAS, Shijiazhuang 050021, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The changes in hydrology in the Yehe catchment, an important branch of the Hutuo river, from climate fluctuation and land cover changes during 1971—2000 were analyzed. During this period, Yehe basin experienced decreases in annual precipitation and the annual temperature increased significantly, especially during the winter period from November to February in the following year. During the study period, the total change in area of each land use, including grass, forest, farmland (irrigated and non-irrigated) and others was not obvious. However in 1995, the forest and densely grass coverage dropped fast, the farmland area increased to a maximum of 29.75%. Over time, irrigation area of farmland gradually increased. For instance, irrigation area of Xiyang city was only 1 190 ha in 1990, but in 2000 it reached 3 109 ha. In the meantime, the hydrological system changed significantly. To 2000, the land coverage recovered in 1980. Annual streamflow decreased considerably and the downward trend was more significant than that of annual temperature and annual precipitation. Especially after the 1980s, the annual runoff decrease was serious and some of the upstream rivers dried up.

Key words: Climate fluctuation; Land cover change; Hydrological effect

水资源短缺已成为制约许多地区社会发展的突出问题, 目前已经受到了社会各方面的广泛关注。因为气候和土地利用变化是全球变化的主要方面, 故研究其对流域水平衡与水循环及洪水干旱的影响也已成为全球变化研究中的一个重要方向。针对特定区域, 分析土地覆被、气候变化与水文变化之间的关系, 已经成为区域资源问题、环境问题及生态问题上的政策效应分析的重要手段^[1]。海河流域水资源

总量少、降雨时空分布不均、经常出现连续枯水年和水资源量明显减少, 区内的人均水资源仅为全国平均水平的 1/7、世界平均的 1/27, 是我国水资源短缺最为严重的地区。干旱缺水, 导致地下水严重超采、水资源供需矛盾和生态环境恶化, 严重制约着流域经济社会的可持续发展。近年来, 海河流域山区出现了径流的锐减, 这种锐减不仅反映在时间尺度较长的年代际的变化, 也反映在短历时的暴雨洪水过

收稿日期: 2007—04—06

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX—SW—446)

作者简介: 樊 静(1980—), 女, 新疆奇台人, 在读硕士, 主要从事土地利用、气候变化对地表水循环及影响的研究。

程上^[3]。同时由于太行山区对其下流平原区的补水量不断减少,下游河流断流,地下水位下降明显,平原区绝大部分河流已经成为季节性河流或常年干涸。受各种因素的影响,海河流域径流量比降水量的年季变化幅度更大,年径流变差系数 C_v 值为 $0.42 \sim 1.10^{[3]}$ 。为了简化系统的复杂性和不确定性,最初分开考虑土地覆被和气变化对水文的影响,但是随着水文模型及其他新研究方法的出现,现在更多的是将二者相互联系,共同研究^[4-6]。例如 Jense K L^[7] 分析了津巴布韦 6 个中小流域 25~50 年的气候波动和土地利用变化的水文效应。Dagnachew L^[8] 用 PRMS (Precipitation runoff modelling system) 研究了 1985—1995 年埃塞俄比亚气候与土地利用变化对流域水文的响应。Luis Samaniego^[9] 建立了与地表径流相关的地形学、土地利用和气象学相联系的非线性模型,研究了中尺度流域在气候和土地利用变化双重作用下的流域径流特性的变化。国内邓惠平^[10] 分析了 1960—1990 年气候与地表覆被变化对梭磨河流域的水文影响。因此本文选取了海河流域滹沱河的重要支流——冶河流域,该流域是石家庄市的供水水源地——黄壁庄水库的重要补给源,旨在分析近几十年来该流域径流减少驱动因子气候和土地利用变化的趋势及其对径流的影响。

1 流域自然条件的概述

冶河属海河流域滹沱河最大的支流之一,流域面积达 $6\,420\text{ km}^2$,支流众多,共同组成树枝状水系(图 1)。冶河上源有二,即绵河和甘陶河。绵河源出山西省寿阳县龙潭,东流经阳泉、娘子关到北横口,长 120 km ,流域面积 $2\,736\text{ km}^2$ 。甘陶河源出山西省昔阳县窑上,在山西省境内的河段习惯称松溪河,东北流至神河庄入井陘县内,全长 150 km ,流域面积 $2\,564\text{ km}^2$ 。绵河与甘陶河在北横口交汇以后称冶河,过井陘入平山县,最终汇入滹沱河黄壁庄水库(图 1)。

流域属半干旱半湿润大陆季风性气候,雨热同期,多年平均降水 513.2 mm ,年蒸发量 $1\,598.5\text{ mm}$,年均相对湿度 58% 。该区属于太行山东脉,垂直差异明显,海拔从 $111 \sim 1\,816\text{ m}$,流域的降水年季变化大,丰枯年的降水量相差 2.23 倍。年内降水分布不均,其中 6~9 月为雨季其降雨量占全年总降雨量的 $60\% \sim 80\%$,丰水年这 3 个月的径流量可占全年总量的一半以上。该区的植被类型主要有针叶林,落叶阔叶林,落叶灌丛和灌草丛。该流域内有地都站、微水站、平山站 3 个水文站和平山县、井陘县、阳泉

市 3 个气象台站(图 1)。



图 1 冶河流域的地理位置、流域的界限、水系、水文站及气象站分布

Fig 1 Location, sub-watershed, river network rain and weather station of Yehe catchment

2 流域降水和气温的变化

2.1 降水的变化

根据流域内平山县、井陘县和阳泉市气象站(1965—2000 年)的降水资料分析,流域内平山站的多年降水量有所上升但不明显,而井陘县和阳泉市的年降水量呈下降趋势,尤其是上游阳泉市的降水量以 2 mm/a 的速率减少。整个流域在 70 年代降雨量的年际波动较大,1972 年所有站点的降雨量都降到了 30 多年来的最低值,只占多年平均值的 40% 。到了 80 年代,平山和井陘两县大多数年份的年降雨量都低于流域的多年均值,并且 80 年代的平均年降雨量较 70 年代减少了 10% ;而阳泉市各年降水量在 80 年代基本均匀分布在均值两侧并且年均降水量较 70 年代增加了 10% 。进入 90 年代,虽然降水偏少年份占的比例大,但是由于出现了 1995、1996 及 2 000 共 3 个丰水年,尤其是 1996 年平山和井陘的年降水量达到了 30 多年来平均水平的 2 倍多,从而使整个 90 年代两站的降雨量均值高于 80 年代,而阳泉市的平均年降水量基本与 70 年代持平(表 1)。

通过图 2 可以看出,处在流域上游的阳泉市降水量的年际间变化幅度大,并且其变化的规律与其他两站略有不同,这可能与该站的海拔及复杂的地理位置有关,该站的海拔达到了 742 m ,又处在太行中段西侧,地形复杂。从各月降水量的分布来看,30

多年来变化不明显,降雨量基本都集中在 6,7,8,9 四个月中,尤其7,8两个月。

表 1 平均年降水量和年最大降水量的变化

年代 Period	平均年降水量/mm Average annual precipitation			平均年最大日降水/mm Annual maximum daily precipitation		
	平山	井陘	阳泉	平山	井陘	阳泉
	Pingshan country	Jingxing country	Yangquan country	Pingshan country	Jingxing country	Yangquan country
1965—1970	542.6	510	566	82.3	73.2	56.6
1971—1980	561.37	520	487	103.3	74.1	49.3
1981—1990	498.6	486	542	70.5	54.5	66.6
1999—2000	579.8	501	482	108.1	100.7	59.8

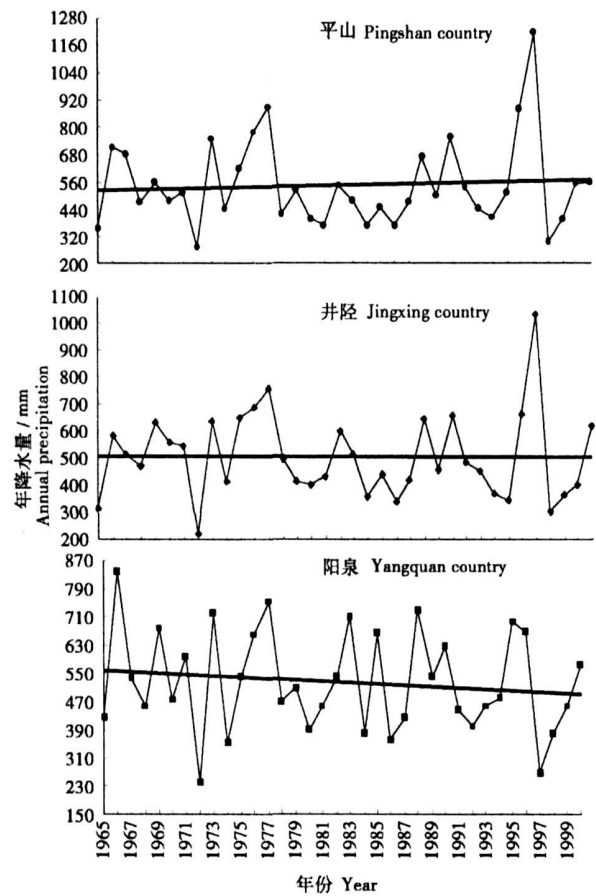


图 2 流域内站点实测年降水量的变化
Fig 2 Change of annual precipitation

以 10 年为一段,从 1965 年到 2000 年阳泉市的平均年最大降水量变化较小,平山站 70 年代和

90 年代最大降水量比 80 年代高 40%左右,其中井陘县 90 年代的平均年最大降水量是 80 年代的 2 倍,差距最大(表 1)。

2.2 气温的变化

根据平山、井陘、阳泉三站的气象资料分析,年平均气温 1965—2000 年呈上升趋势,经回归分析检验达到显著水平,尤其是平山站,三站的多年平均气温的增率分别为 1.344℃/30a,0.909℃/30a,0.912℃/30a,其中平山站的增幅最大,阳泉市的多年平均气温明显低于其他两站。在研究期内,1998 年各站的年平均气温都达到了最大值,分别为平山 15.04℃、井陘 14.74℃、阳泉 12.64℃;而出现年平均气温最低值的年份却不相同。在温度上升的各年中,通过对三站 30 年来各月平均温度的对比,发现春季 2~5 月的上升幅度相对较小,冬季 11,12,1 月的温度上升明显。

3 地表覆被变化的分析

3.1 林地和草地的覆被变化

冶河流域大部分区域处在低山丘陵区,植被以自然植被为主,其中有林地和草地占到了总面积的 70%左右。由于最近几十年人类活动频繁,森林遭到破坏,原始的林地已经荡然无存,植被向灌丛阶段演变,而更干旱的地方则演变为灌草丛。在人为活动更为频繁的地方或撂荒地,灌丛和灌草丛植被向草丛植被演替。

表 2 冶河流域 1980—2000 年林地和草地覆盖面积变化

时间 Time	林地 Forestland					草地 Grassland			
	总面积 Total	有林地 Forestland	灌木林 Bush	疏林地 Woodland	其他林地 Othet Forest land	总面积 Total	高覆盖草地 High coverage grassland	中覆盖草地 Medium coverage grassland	低覆盖草地 Low coverage grassland
1980	32.1	8.37	17.1	6.29	0.36	37.6	9.88	10.1	17.6
1995	33.1	2.20	23.0	7.62	0.19	33.4	0.07	11.3	22.0
2000	32.1	8.36	16.8	6.30	0.56	36.1	9.31	9.76	17.0

从土地覆被的分类数据可以看出(表 2),80 年代与 2000 年流域的林地和草地覆被面积比较接近,但是 1995 年变化较大。其中 95 年的有林地面积仅

占其他 2 个时期的 1/3 还要少,高覆盖度草地的面积更是从 9% 减少到了 0.07%。与此同时灌木林地和低覆盖度草地的面积都增加了约 5%,相互之间

进行了一定程度的转化,说明该时期人为干扰加剧,林地被破坏,植被退化严重。但是随着 90 年代末国家对生态环境保护的重视,加大了水土保持力度,实施了退耕还林还草,禁止放牧等一系列举措,该区的自然植被在 2000 年基本恢复到了 80 年代的水平,尤其是有林地和高覆盖草地恢复迅速,短期内基本达到了 80 年代的水平。20 年来,流域内的林地和草地覆被的总面积的变化并不明显,但是内部的结构和质量却存在明显差异。

3.2 耕地的变化

由于受地形条件的约束,该区农田面积约占整个流域的 1/3,且基本都是旱地农田。从土地利用类型的分类统计来看,1995 年该区的农田总面积达到了峰值,占总面积的 29.75%,其中丘陵旱地比 80 年代增加了 2.2%。到 2000 年农田总面积有所下降,但总量还是高于 80 年代水平,其中平原旱地和山地旱地分别比 80 年代有所增加,丘陵旱地在逐步减少。流域内有平山、井陉两大灌区,上游的昔阳县又是主要的农业大县,流域内的农业用水量占总用水量的比例较大。与此同时,研究区内农田的有效灌溉面积在逐年增大,仅以昔阳县为例 1990 年的有效灌溉面积仅为 1 190 hm²,到了 2000 年短短的 10 年时间就增加了 3 倍达到 3 109 hm²。

流域内的阳泉市是我国重要的能源重化工基地之一,区内 2000 年的城乡、工矿、居民用地比 80 年代增加了约 1%,生活和工业用水量随之增大;而其他土地利用类型如水域等面积变化不大,另外流域内的上游河段近年来修建的大量的积水蓄水设施,对局部地区的水文过程有较大影响,但就整个流域而言影响应是很小,因此本研究暂不予考虑。

4 流域水文的变化

图 3 是流域内的地都、微水及平山三所水文站 1960—2002 年年平均流量的变化,流域 40 多年来年平均流量整体呈下降趋势,尤其是 80 年代以后减少更加明显。

根据目前掌握的资料对冶河全流域的降水量进行了加权平均,表 3 是流域各时段的降水量和平均流量。从表 3 可以看出,从 60 年代到 80 年代流域降水量和平均径流量都在不断减少,到了 90 年代,虽然降水量比 80 年代减少了 5 mm,径流量却有所上升,比上 80 年代增加了 40%,考虑可能受 1996 年洪水影响。该次洪水为百年一遇的特大洪水,流域最大降雨为 652 mm,洪峰流量 13 000 m³/s,该年的平均径流量是正常年份的 7 倍,是造成整个 90 年代流域的平均流量高于 80 年代的重要原因之一。

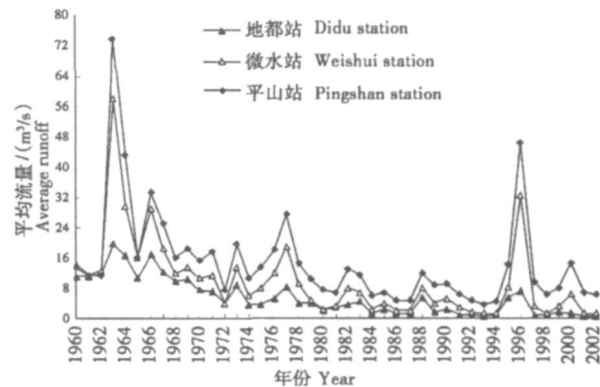


图 3 年平均流量的变化

Fig 3 Change of average runoff from 1960 to 2002

另外,流域平均径流量减少非常明显,70 年代的平均流量只占 60 年代的 58%,径流深减少了 51.9 mm,流域的加权平均降水量减少了 7.62 mm,降水与径流之差增加了 44.28 mm。80 年代平均径流量仅占 60 年代的 32%,径流深减少了 83.49 mm,流域的加权平均降水量减少 17.17,降水与径流深之差增加了 66.32 mm。到了 90 年代平均径流量也只占 60 年代的 46%,流域的加权平均降水量减少 20.97 mm,降水与径流深之差增加了 45.33 mm。这说明 60 年代以来,流域的蒸发量在增加,径流系数下降,流域降水和径流关系及水量平衡发生了变化。在径流深的减少中,1971—1980 年降水的减少占 15%,1981 到 1990 年降水减少占 21%,1991 到 2000 年则占到了 32%。

表 3 流域各时段平均降水量和流量

Tab. 3 Average precipitation and runoff during each period of catchment

时段 Period	1965—1970	1971—1980	1981—1990	1991—2000
流域加权平均降雨量/mm Weight average precipitation	536.92	529.3	519.75	515.95
平均流量/(m ³ /s) Average runoff	25.19	14.63	8.19	11.70
径流深/mm Depth of runoff	123.77	71.86	40.28	57.47
径流系数 Runoff index	0.23	0.14	0.08	0.11
余量/mm Supplus prelipitation	413.15	457.44	479.47	458.48

该流域受到季风气候的影响,降水的年内变化大,造成流域各河径流的年内分配很不均匀。从各月

分配来看,径流主要集中在 7、8、9 三个月,丰水年这三个的径流量可占全年总量的一半以上,常年有水

河流,最小水量多出现在春季4、5月,该月的径流仅占全年总量的2%~3%。通过对本流域内3个水文站的多年各月平均径流量的对比发现,流域径流量的年内分布多年来变化不大,最大径流量及降雨都出现在8月,但1960—1980年的最大月平均径流量是1981—2000年的2倍。流域的绝大部分为黄土地区,境内植被贫乏,夏季雨量集中,多暴雨,各河的含沙量一般较大,多年平均含沙量可超过 10 kg/m^3 左右,根据多年实测结果,冶河的含沙量在滹沱河水系中比较突出,因此应十分注意水土保持工作。

5 结论与讨论

30多年来冶河流域的年降水量不断减少,流域内气温上升约 $1.0\sim 1.3\text{ }^{\circ}\text{C}/30\text{a}$ 且冬季升温明显高于其他季节。

自1980—2000年由于人类的干扰流域内草地和林地的质量发生了变化,有林地和高覆盖草地的覆盖率1995年迅速减少,到了2000年基本恢复到1980年水平。其中1995年有林地面积不足其他2个时期得1/3,高覆盖度草地的面积更是从9%减少到了0.07%。另外流域内的农田总面积的百分比20年来基本保持在30%左右,有效灌溉面积在逐年增加。

就整个海河流域来讲以1980—2000年与1960—1979年降水系列相比,年均降雨量减少11%,由于下垫面变化等原因,地表径流减少幅度更大,从256亿 m^3 减到171亿 m^3 ,减少33%^[11]。而根据刘春葵等^[12-13]的研究表明,在海河流域气温升高 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 而降水不变时径流将减少8%;当降水减少10%时,气温不变时,径流将减少26%。如果气温升高 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 同时降水减少10%,则径流将减少30%~35%。由于30年来流域的气温逐渐上升,造成实际蒸发量不断增加。因此在气候和土地利用/地表覆被变化的共同作用下,流域的水文发生了明显的变化,地表径流自1960年以来持续下降,尤其是80年代以后趋势更为明显,上游长年有水河道甚至出现了不同程度的断流。

本研究初步分析了近30年来气候和土地利用覆被变化对冶河流域地表径流的影响。由于该流域同时受人类干扰,目前的研究并未考虑人类活动对其影响,因此在今后的研究中拟选取具有较强物理机制的分布式水文模型,模拟并分析在人类活动影响下的气候与土地利用/地表覆被变化对流域径流的影响,并定量的区分各因素影响的大小。同时结

合未来气候变化、土地利用/地表覆被变化及该区域的人口、工业等社会经济发展的预测,共同来分析评价未来条件下的该流域径流可能出现的变化,为评价土地利用的生态环境效应、流域规划管理及制定可持续发展的土地资源利用与生态环境保护的相关决策提供分析手段和科学依据。

参考文献:

- [1] 李秀彬. 土地覆被变化的水文水资源效应研究——社会需求与科学问题[Q] //中国地理学会自然地理专业委员会. 土地覆被变化及其环境效应论文集. 北京: 星球地图出版社, 2002
- [2] 刘春葵, 刘志雨, 谢正辉. 近50年海河流域径流的变化趋势研究[J]. 应用气象学报, 2004, 15(4): 386—393.
- [3] 张光辉, 费宇红, 刘克岩, 等. 海河平原地下水的演变与对策[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 1—30.
- [4] David C M, Kenneth D F. Water resource planning and climate change assessment methods[J]. Climatic Change, 1997, 37(1): 25—40.
- [5] Jones J A. Peak flow responses to clear-cutting and roads in small and large basins, western cascades, Oregon[J]. Water Resource Research, 1996, 32(4): 959—74.
- [6] Alverson K, Bradley R, Pedersen T. Environmental variability and climate change[Q]. IGBP Science Series, 2001(3): 1—31.
- [7] Jens K L, Jens C R, Dominic M. Assessing the effect of land use change on catchment runoff by combined use of statistical tests and hydrological modeling. Case studies from Zimbabwe[J]. Journal of Hydrology, 1998, 205: 147—163.
- [8] Dagnachew Legesse, Christine Vallet-Coulomb, Francoise Gasse. Hydrological response of a catchment to climate and land use changes in Tropical Africa: case study South Central Ethiopia[J]. Journal of Hydrology, 2003, 275: 67—85.
- [9] Luis Samaniego, Andras Bardossy. Simulation of the impacts of land use/cover and climatic changes on the runoff characteristics at the mesoscale[J]. Ecological Modeling, 2006, 196: 45—61.
- [10] 邓慧平, 李秀彬, 张明, 等. 气候与地表覆被变化对梭磨河流域水文影响的分析[J]. 地理科学, 2001, 21(6): 493—497.
- [11] <http://www.hbsw.net/index.asp>
- [12] 刘春葵, 英爱文, 颜开. 中国水资源对气候变化的敏感性及其脆弱性研究[M] //符淙斌, 严中伟. 全球变化与我国未来的生存环境. 北京: 气象出版社, 1996: 330—338.
- [13] 刘九夫, 郭方. 气候异常对海河流域水资源评估模型研究[J]. 水科学进展, 2000, 11(增刊): 180—183.