

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20190431

土地利用与气候变化对密云水库来水量变化的影响研究

黄俊雄^{1,3}, 刘兆飞², 张 航^{1,3}, 韩 丽^{1,3}

(1.北京市水科学技术研究院, 北京 100048; 2.中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

3.北京市非常规水资源开发利用与节水工程技术研究中心, 北京 100048)

摘 要: 综合应用多种方法, 评估了土地利用与气候变化对密云水库来水量变化的影响。应用 Mann-Kendall 全时段趋势检验方法检验不同时段降水与径流的变化趋势; 结合水量平衡方法分析气候与土地利用变化对流域径流的影响; 利用双累积曲线方法检测了流域降水-径流关系的突变点, 并探讨其原因。结果表明, 1960~2016 年, 密云水库来水量整体呈显著的减少趋势; 1980s 以后, 土地利用变化、人类活动用水量剧增是引起径流减少的重要因素, 其中土地利用变化导致蒸散发减少, 对径流变化的贡献率达 60%。

关键词: 土地利用; 气候变化; 水量平衡; 径流; 地震; 密云水库

中图分类号: TV121

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2021)01-0001-06

1 引言

密云水库是北京市重要的水源地, 为首都经济社会发展起着巨大的支撑作用。据统计, 1999 年以后, 密云水库来水量持续偏少^[1], 而同时段北京经济社会持续发展, 城市供水需求日益增大, 水资源压力较大^[2]。水库来水量主要受气候、土地利用变化及人工取用水等因素的影响。其中人工取用水主要表现为农业用水, 与耕地面积成正比, 因此研究土地利用与气候变化对密云水库来水量的影响, 对于优化密云水库调度、统筹北京市水资源调配及确保首都供水安全具有重要意义。

近几十年, 受生态建设、农业结构调整及水资源开发利用的影响, 密云水库上游流域土地利用发生了较大变化^[3], 流域下垫面条件变化必将影响降水-径流关系产生一定影响。对于密云水库来水量变化趋势及其影响因素, 学者们已经开展了系列研究, 密云水库来水量减少是不争的事实, 但其影响因素的结论并不一致, 许多研究^[4-5]都认为入库径流减少的趋势不是降水造成的, 主要受土地利用变化等人类活动的影响; 但也有学者^[6-7]认为密云水库入库径流下降的主要原因是气

候变化, 人类活动的影响是次要原因。分析径流变化趋势时, 以往多数研究侧重单一时段的变化趋势, 本研究则对研究期内各个时段进行变化趋势的检验, 以掌握变量在研究期内不同时段的变化趋势。

本文开展土地利用与气候变化对密云水库来水量变化的研究。首先对研究期内各个时段降水与径流的变化趋势进行检验, 并分析流域土地利用变化; 然后结合水文收支平衡分析方法分析了气候与土地利用变化对流域径流的影响; 最后利用双累积曲线方法检验流域降水-径流关系的突变点, 并探讨其原因。本研究有利于加深对密云水库来水量变化趋势及其影响因素的理解, 为变化环境下的密云水库及北京市水资源调配提供一定的科技支撑。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 研究区概况

密云水库位于北京密云区以北山区, 1960 年建成, 以防洪与供水为主要目的, 总库容 $43.75 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。上游主要有白河与潮河两条入库河流, 其水文控制断面分别为张家坟和下会(见图 1)。流域位于半干旱半湿

收稿日期: 2019-12-04

基金项目: 国家水专项(2018ZX07109-004); 北京市市属项目“北京市农业节水地块图斑分析及应用”(ZX-2019-92)

作者简介: 黄俊雄(1980-), 男, 湖北武汉人, 博士, 教授级高工, 主要研究方向为水文水资源。E-mail: hjx@bwsti.com

通讯作者: 刘兆飞(1982-), 男, 河南郑州人, 博士, 副研究员, 主要研究方向为水文水资源。E-mail: zfliu@igsrr.ac.cn

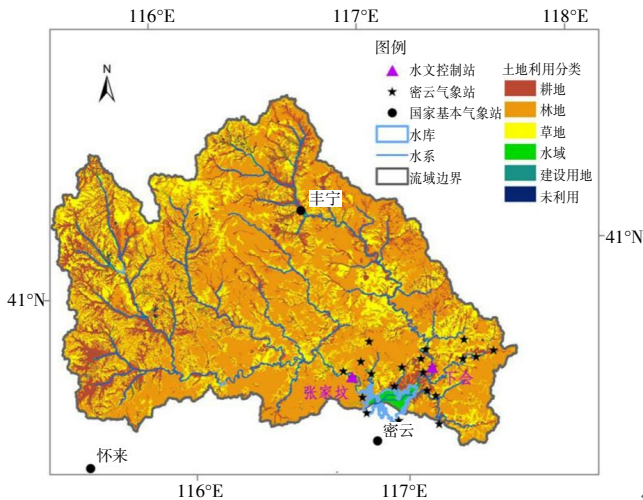


图1 密云水库上游流域土地利用类型(2000年)及水文气象站点位置
Fig.1 The land use types and locations of meteorological and hydrological stations in the upstream region of the Miyun Reservoir

润区,属大陆性季风气候,汛期(6~9月)来水量约占水库总来水量的70%。密云水库上游流域分布最广的是林地,约占流域面积的一半(49.4%),其次为草地(27.0%)和耕地(21.2%),而水域、建设用地和未利用土地面积合计占2.4%。

2.2 研究数据

径流数据为张家坟(白河)与下会(潮河)两个水文控制站的年径流量数据,两站的集水面积分别为8506 km²与5340 km²,数据来源于水文年鉴及文献[1]。应用水文年鉴数据对文献数据进行了验证,年鉴与文献的年径流对比见图2,通过文献数字化获取的张家坟与下会站年径流序列RMSE都为0.020×10⁸ m³,R²则分别为1.000和0.999。总的来看,文献获取的年径流数据与水文年鉴数据吻合,因此本研究采用1960~2012年的文献数据和2013~2016年的水文年鉴数据。

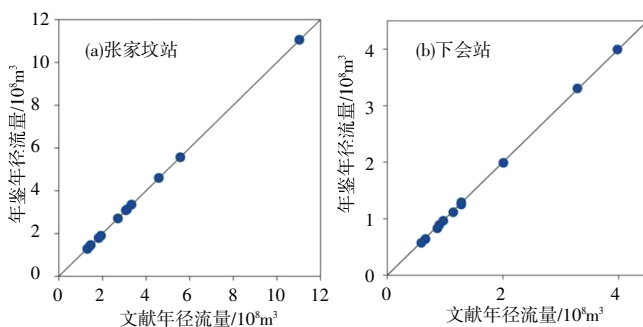


图2 水文年鉴与文献年径流数据对比
Fig.2 The comparison between annual hydrological reports and reference runoff data

气象数据包括丰宁、密云及怀来等3个国家基本气象站数据,另有密云区21个气象站的年降水量序列数据,数据序列为1960~2016年。

土地利用数据为1980s和2000年两期土地利用分类图,比例尺分别为1:100万与1:10万,本文获取的1980s数据为空间分辨率100m的栅格文件,2000年数据为矢量图,数据来源于中国科学院数据云。

2.3 研究方法

(1)土地利用转移矩阵。土地利用转移矩阵是分析土地利用变化有效且直观的方法,本研究利用ArcGIS空间分析模块分析密云水库上游流域的土地利用变化特征。

(2)Mann-Kendall全时段趋势检验方法。Mann-Kendall法作为一种非参数统计检验方法,其不需要样本服从特定的分布,可以直接检验时间序列的单调变化趋势,因此被广泛地应用于水文气象时间序列的趋势分析方面^[8]。本文Kendall检验是基于正态分布的双边检验。

实际上,不同时段内降水或径流变化的趋势是不同的,比如1960~2010年的降水序列,前25年和后25年有可能会完全相反的变化趋势,因此,趋势检验结果通常受检验时段的影响。针对这一问题,本研究对数据序列内的全时段,即各个连续时段($\geq 20a$)都进行趋势检验,如果序列长度为 n ,累计检验的时段数则为 $\frac{(n-18) \times (n-19)}{2}$,即共有 $\frac{(n-18) \times (n-19)}{2}$ 个MK检验结果,该全时段趋势检验方法可以较全面的把握时间序列不同时期内的变化趋势。

(3)双累积曲线检验方法。双累积曲线是水文学研究中检验降水-径流关系一致性及突变点的有效方法。由于该方法简单实用,被广泛应用于降水径流关系一致性的检验研究中。双累积曲线应用中,首先根据年降水和年径流数据,分别计算其逐年累积值,得到年累积的降水与径流序列;然后在平面直角坐标系中绘制两个序列的散点图;最后,通过观察双累积曲线的变化特点进行一致性判断。如果降水径流关系未发生改变,累积曲线呈一条直线;若累积曲线出现偏离,则说明降水径流关系发生了突变,出现偏离的年份即为突变年。

(4)水文收支平衡分析方法。水文收支平衡(即流域水量平衡)方法是评估气候变化对径流影响的一种简单有效的方法^[9]。对于一个流域来说,土壤水分的长

期变化量是可以忽略的,因此,径流变化主要由流域内的降水、冰川融水(若有)及蒸散发影响,如式(1)。

$$\Delta P-\Delta R=\Delta ET$$

(1)

式中: ΔR 为径流变化量; ΔP 为降水变化量; ΔET 为蒸散发变化量。通常来说,降水对径流变化起正影响,而蒸散发对径流变化则起负影响。 ΔR 和 ΔP 可由径流和降水数据序列计算得到, ΔET 受气象要素(如气温等)和流域下垫面(如土地利用类型)的影响。

一般来说,升温会引起潜在蒸散发的增加,并有可能导致实际蒸散发增加;植被覆盖度提高会增加植被蒸腾量,进而导致蒸散发增加;耕地面积增加对灌溉用水需求量增加,导致径流减少。综上所述,基于降水、气温、土地利用等各因素对径流变化的正、负影响,可以分析流域内土地利用和气候变化对径流变化的影响。

3 结果分析

3.1 土地利用变化分析

表 1 为密云水库上游流域 1980s~2000 年土地利用类型转移矩阵,土地利用变化最为明显的是草地的减少(57.1km²)和水域面积的增加(51.1km²),其次是建设用地的增加(8.3km²)与耕地的减少(4.8km²),林地和未利用土地面积变化较小。密云水库上游流域 1980s~2000 年间土地利用类型变化面积大于 1km² 的空间分布见图 3,从表 1 和图 3 可以看出:

(1)土地利用最大的变化是草地转换为耕地,面积约 28.4km²,这与魏彦昌等^[6]的结论一致,他们的结果显示流域在 2000 年前有较多的林草地转变为耕地。空间分布主要位于白河上游的赤城县云州乡云州水库附近。

(2)第二个变化特点是耕地转换为水域和草地转换为水域,面积分别达到了 26.5km² 和 24.6km²,这主要是由于 1994 年密云水库水位上涨,接近了 155m,国务院为了库区人民的人身安全考虑,于 1995~2000 年开展了密云水库移民。

(3)第三变化特点是林地和草地之间的相互转换,其中,草地转换为林地和林地转换为草地的面积分别为 23.6km² 和 16.9km²。从空间分布看,草地变林地主要位于丰宁满族自治县杨木栅子乡附近、白河干流白河堡水库下游附近、白河支流菜食河上游延庆区珍珠泉乡附近,及潮河下游下会站以下等区域;林地变草地则主要位于白河支流黑河源头、赤城县与沽源县交界处附近(黑龙山和沽源县老掌沟林场)、怀柔区琉璃庙镇北部,及密云区内白河与潮河下游临近密云水库等区域。

空间整体看,密云水库上游流域内,北京境内土地利用变化相对较为剧烈,其中,又以受密云水库影响的密云区土地利用变化最为剧烈。

表1 密云水库上游流域1980s~2000年土地利用类型转移矩阵
Table1 The land use types transition matrix in the upstream region of the Miyun Reservoir during 1980~2000

土地利用类型	1980s~2000 年土地利用类型转换面积/km ²						1980s
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用	
耕地	3221.2	1.9	3.0	26.5	5.4	0.0	3258.0
林地	3.8	7543.1	16.9	0.0	2.5	0.0	7566.3
草地	28.4	23.6	4110.0	24.6	0.4	0.0	4187.0
水域	0.0	0.0	0.0	201.5	0.0	0.0	201.5
建设用地	0.0	0.0	0.0	0.0	79.0	0.0	79.0
未利用	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.1	23.1
2000 年	3253.4	7568.6	4129.9	252.6	87.3	23.1	15314.9

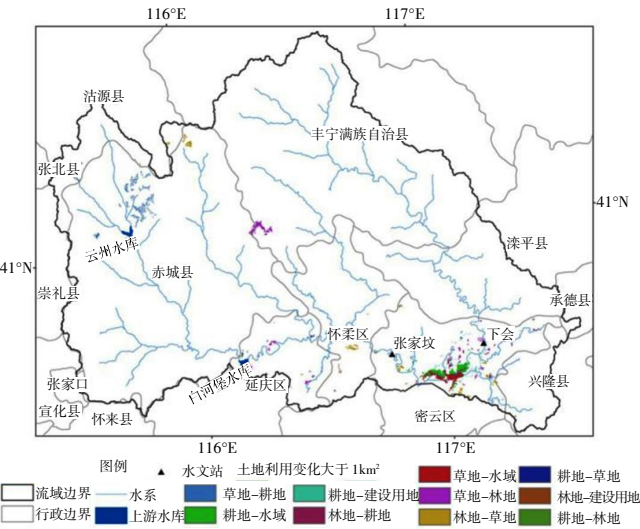


图3 1980s~2000 年土地利用类型变化面积大于 1km² 的空间分布
Fig.3 The spatial distributions of land use types changing areas larger than 1km² during 1980s~2000

3.2 降水量与来水量变化趋势分析

1960~2013 年间,水库上游流域、潮河流域及白河流域各个时段(序列长度≥20a)年降水量的变化趋势检验结果见图 4,密云水库上游流域、潮河流域及白河流域降水变化较为一致,2000 年以前各个时段降水整体呈增加趋势,20 世纪 80 年代以前时段增幅更为明显,最大增幅为 95.2mm/10a 以内;2000 年后的各个时段降水整体呈减少趋势,20 世纪 80 年代年份为起始年的时段降幅相对较大,最大减幅达-128.9mm/10a;其中,潮河流域降水的减少趋势在大多数时段内统计显著($\alpha=0.05$,下同),尤其是 2006 年以后的时段。

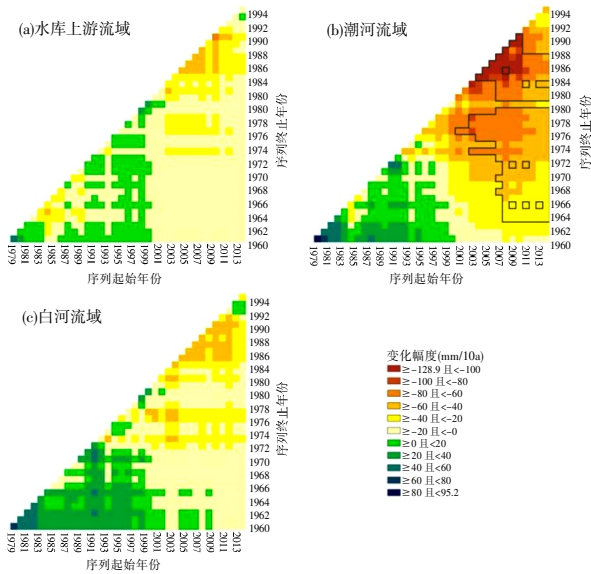


图4 1960~2013年各时段(序列长度 $\geq 20a$)年降水量变化趋势检验结果(灰框为变化趋势显著 $\alpha=0.05$,下同图5)

Fig.4 The changing trends of annual precipitation for different periods during 1960~2013

本研究用张家坟和下线站径流量表示白河与潮河流域来水量,用两个站径流量之和代表密云水库上游流域来水量。图5分别给出了水库上游流域、潮河流域及白河流域1960~2016年各个时段(序列长度 $\geq 20a$)年径流量的变化趋势检验结果。密云水库上游流域内,包括潮河流域和白河流域,径流在1960~2016年间整体呈下降趋势,下降幅度极值为 $-26.5\text{mm}/10a$,大多数下降趋势都统计显著,尤其是水库上游流域和白河流域。三个流域径流呈增加趋势的时段包括1960~1981年时段,及1980~2000年左右的时段,增幅在 $10\text{mm}/10a$ 以内。结合图4降水量变化趋势可以看出,密云水库上游流域各区域径流与降水变化趋势只是在1960~1980年时段内一致,其它大多数时段内并不一致,例如,2000年前各时段降水整体呈增加趋势,但同期径流则呈减少趋势。

4 讨论与结论

4.1 讨论

已有研究分析了影响密云水库来水量变化的因素,例如有些学者^[4,6-7]借助水文模型,通过区分基准期(假定无人类活动影响)和人类活动影响期来量化人类活动对径流变化的影响,但这些研究划分的基准期并不尽相同,Wang等^[4]利用径流量单累积曲线检测的径流序列突变点为1979年,而Ma等^[6]和郭军庭等^[7]划分

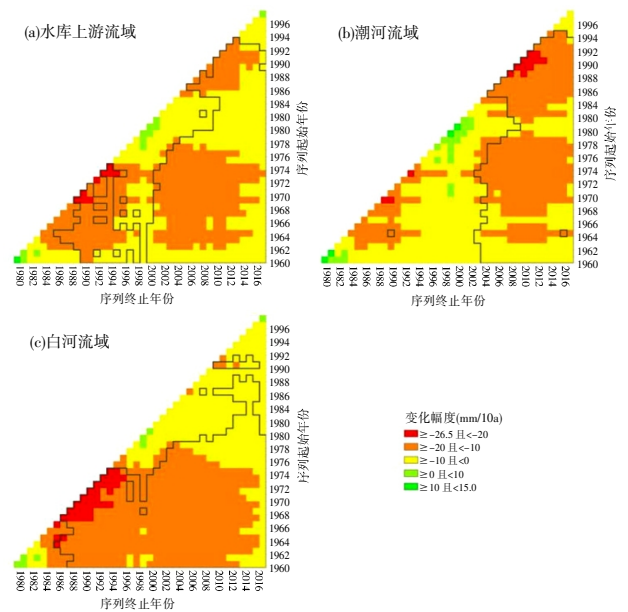


图5 1960~2016年各时段(序列长度 $\geq 20a$)年径流量变化趋势检验结果

Fig.5 The changing trends of annual runoff for different periods during 1960~2016

的基准期则分别以1984年与1990年为界点。总的来看,以往研究中主要将密云水库来水量变化的影响因素分为自然和人类活动两类,通过检测径流序列突变点,并假定径流发生突变前主要受自然因素影响,进而分析突变发生后人类活动因素的影响。本研究主要基于水文收支平衡分析方法,从气候变化、土地利用变化及人工取用水等角度,分析其对密云水库上游径流量变化的影响。

(1)气候变化对密云水库来水量变化的影响分析。流域多年平均降水量为 476.9mm ,但径流量仅有 45.9mm ,流域径流系数为 0.096 。水库上游流域实测径流在1960~2013时段变化幅度均值为 $-1.4\text{mm}/10a$;但若按流域径流系数计算,时段内降水量变幅为 $-12.4\text{mm}/10a$,相应径流变幅为 $-1.2\text{mm}/10a$,较实测径流减小幅度低 $0.2\text{mm}/10a$,根据水文收支平衡,相应的蒸散发量应是增加的,而实际上,水库上游流域蒸散发量也确实是增加的,例如气温升高导致的潜在蒸散发增加,水库面积增加引起蒸散发损耗增加等等。

(2)土地利用变化对密云水库来水量变化的影响分析。1980~2000年降水量变幅 $-5.6\text{mm}/10a$,按流域径流系数计算,相应径流变幅为 $-0.5\text{mm}/10a$,大于流域径流实际减幅度($-0.2\text{mm}/10a$),根据水文收支平衡,流域蒸散发量变化 ΔET 为 $-0.3\text{mm}/10a$,也就是说,流域蒸散发减少对径流变化的贡献率占到 60% ($0.3/$

0.5)。但实际上从气候变化角度,流域同时段内气温升高会导致蒸散发的增加。从土地利用变化角度,水库上游流域林草总面积减少了 54.7km^2 ,植被减少会引起其蒸腾量减少,进而导致蒸散发减少;耕地面积减少(4.8km^2),特别是据北京市宏观经济与社会发展基础数据库统计,1980~2000 年水浇地面积减少了 $2.5\times 10^4\text{hm}^2$,导致同期农业用水量减少,会引起蒸散发减少。

(3)人工取用水对密云水库来水量变化的影响分析。密云水库上游流域主要涉及北京市怀柔、延庆和密云区,及河北省丰宁、赤城与滦平县等 6 个行政区,流域内人类活动对径流影响不容忽视,包括水库、人工取用水等。从用水量角度,仅潮河流域的河北境内用水量就超过了 $1.7\times 10^8\text{m}^3$ ^[10],用水量为潮河流域多年平均径流量($2.4\times 10^8\text{m}^3$)的 71%。据不完全统计,2000 年后水库上游流域总用水量超过了 $3.7\times 10^8\text{m}^3$,用水量也达到了水库流域多年平均径流量($6.4\times 10^8\text{m}^3$)的 58%。

1960~2016 年间,水库流域径流量线性减幅平均为 $-9.9\text{mm}/10\text{a}$,相应减少径流量为 $1.4\times 10^8\text{m}^3/10\text{a}$,据北京市宏观经济与社会发展基础数据库统计,1960~2017 年间,用水量线性增幅达 $1.7\times 10^8\text{m}^3/10\text{a}$,涉及水库流域的怀柔、密云与延庆等区增幅约为 $0.3\text{m}^3/10\text{a}$,仅北京境内的流域用水量增幅就占到了流域径流减少量的 21%,而该区域面积仅为水库流域面积的 22%,如果考虑河北境内的流域用水量增加,其对流域径流减少的贡献会远高于 21%。因此,从用水量历史变化趋势看,流域内人类活动用水量的急剧增加也是引起径流减少的重要因素。

(4)流域降水-径流关系变化及其影响。图 6 给出了 1960~2013 年水库上游、潮河及白河等流域年降水量与径流量双累积曲线,可以看出,水库上游流域降水-径流关系在 1980 和 1998 年,尤其是 1998 年出现了突变。潮河与白河流域降水-径流关系变化较为一致。许多研究也得到了密云水库上游流域径流在 1999 年后骤然下降的结果^[6,11],但究其原因,普遍认为是人类活动,包括用水量增加等因素的影响。从 1998 年前后的降水-径流双累积曲线中明显看出,1999 年以后的降水-径流关系发生了突变,径流系数明显减小,即同样的降水量,1999 年后产生的径流量更少。土地利用变化会导致降水-径流关系的变化,但流域内 1980 年前后和 1998 年前后并未发现大规模的土地利用变化。1998 年张北发生了里氏 6.2 级地震^[12],地震产生多处断裂及断层,包括与密云水库上游流域有关的赤

城-崇礼断裂、怀安-宣化断裂、张家口断裂,对流域下垫面降水-径流关系造成一定的影响;例如断裂会导致降水更多的渗入区域内的深层地下水系统,进而导致形成的流域径流减少,即径流系数减小。这与 1999 年后径流系数减小的情况相吻合。因此本文认为地震对下垫面的破坏,导致流域降水-径流关系发生突变,进而引起的径流系数减小,可能是 1999 年后密云水库上游流域径流骤减的重要原因。

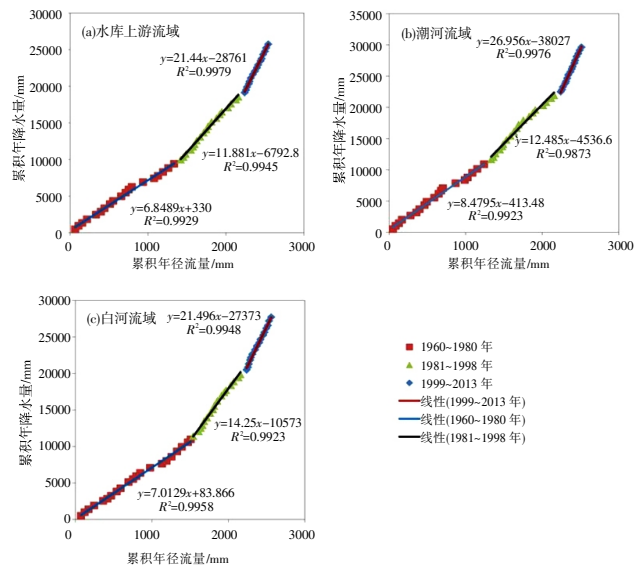


图 6 1960~2013 年年降水量与径流量双累积曲线

Fig.6 The double mass curves of annual precipitation and runoff during 1960-2013

4.2 结论

本文开展了土地利用与气候变化对密云水库来水量变化的研究,主要结论如下:

(1)密云水库上游、潮河及白河等各流域降水在 1960~2013 年间的变化较为一致,2000 年前和后各个时段降水整体分别呈增加与减少趋势,尤其以 20 世纪 80 年代为分界线,其前后变化幅度相对较大;密云水库上游流域各区域径流与降水变化趋势只是在 1960~1980 年时段内一致,其它大多数时段内并不一致。

(2)密云水库上游流域土地利用变化(1980s~2000 年)最为明显的是草地的减少和水域面积的增加;从空间上看,北京境内土地利用变化相对剧烈,其中,受密云水库影响的密云区土地利用变化最为剧烈。

(3)1980~2000 年间,密云水库上游流域土地利用变化(林草地和耕地面积的减少)导致的蒸散发减少,是该时段流域径流变化的主要影响因素,占到了 60%。

(4)密云水库上游流域内人类活动用水量的急剧增加也是引起径流减少的重要因素。

(5)1998年张北地震对流域下垫面的破坏,导致流域降水-径流关系发生突变,进而引起的径流系数减小,可能是1999年后密云水库上游流域径流骤减的重要原因。

参考文献:

- [1] 钟永华, 鲁帆, 易忠, 等. 密云水库以上流域年径流变化趋势及周期分析[J]. 水文, 2013,33(6):81-84. (ZHONG Yonghua, LU Fan, YI Zhong, et al. Change trend and period of annual runoff in upstream watershed of Miyun reservoir [J]. Journal of China Hydrology, 2013,33(6):81-84. (in Chinese))
- [2] 夏军, 李璐, 严茂超, 等. 气候变化对密云水库水资源的影响及其适应性管理对策[J]. 气候变化研究进展, 2008,4(6):319-323. (XIA Jun, LI Lu, YAN Maochao, et al. Impacts of climate change on water resource of Miyun reservoir and adaptation managements [J]. Advances in Climate Change Research, 2008,4(6):319-323. (in Chinese))
- [3] 王丽艳, 吕昌河, 姚治君. 潮白河上游土地利用的时空变化特征与驱动力分析[J]. 地理科学进展, 2005,24(5):88-96. (WANG Liyan, LV Changhe, YAO Zhijun. A spatiotempral analysis of land use change and its driving forces in the upper reaches of the Chaobai River, North China [J]. Progress in Geography, 2005,24(5):88-96. (in Chinese))
- [4] Wang G S, Xia J, Chen J. Quantification of effects of climate variations and human activities on runoff by a monthly water balance model: A case study of the Chaobai River basin in northern China [J]. Water Resources Research, 2009,45(7):W00A11.
- [5] 秦丽欢, 周敬祥, 李叙勇, 等. 密云水库上游径流变化趋势及影响因素[J]. 生态学报, 2018,38(6):1941-1951. (QIN Lihuan, ZHOU Jingxiang, LI Xuyong, et al. Attribution analysis of changes in runoff in the upstream of the Miyun reservoir [J]. Acta Ecologica Sinica, 2018,38(6):1941-1951. (in Chinese))
- [6] Ma H, Yang D W, Tan S K, et al. Impact of climate variability and human activity on streamflow decrease in the Miyun Reservoir catchment [J]. Journal of Hydrology, 2010,389:317-324.
- [7] 郭军庭, 张志强, 王盛萍, 等. 应用 SWAT 模型研究潮河流域土地利用和气候变化对径流的影响[J]. 生态学报, 2014,34(6):1559-1567. (GUO Juntong, ZHANG Zhiqiang, WANG Shengping, et al. Applying SWAT model to explore the impact of changes in land use and climate on the streamflow in a watershed of Northern China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014,34(6):1559-1567. (in Chinese))
- [8] 刘兆飞, 徐宗学. 塔里木河流域水文气象要素时空变化特征及其影响因素分析[J]. 水文, 2007,27(5):69-73. (LIU Zhaoifei, XU Zongxue. Spatio-temporal distribution of hydrometeorological variables and their main impact factors in the Tarim River Basin [J]. Journal of China Hydrology, 2007,27(5):69-73. (in Chinese))
- [9] Liu Z, Yao Z, Huang H, et al. Land-use and climate changes and their impacts on runoff in the Yarlung Zangbo River basin, China [J]. Land Degradation & Development, 2014,25:203-215.
- [10] 李巍, 刘向华, 李春辉. 密云水库上游水资源配置研究[J]. 河北水利, 2010,6:13-14. (LI Wei, LIU Xianghua, LI Chunhui. Water resources allocation in the upstream of the Miyun reservoir [J]. Hebei Water Resources, 2010,6:13-14. (in Chinese))
- [11] 庞树江, 王晓燕. 密云水库流域入库径流量变化特征及归因研究[J]. 干旱区资源与环境, 2016,30(9):144-148. (PANG Shuijiang, WANG Xiaoyan. The characteristics and attribution of runoff change in the Miyun reservoir watershed [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016,30(9):144-148. (in Chinese))
- [12] 徐锡伟, 冉勇康, 周本刚, 等. 张北-尚义地震的地震构造环境与宏观破坏特征[J]. 地震地质, 1998,20(2):135-145. (XU Xiwei, RAN Yongkang, ZHOU Bengang, et al. Seismotectonics and Macrodamage features of the Zhangbei-Shangyi Earthquake [J]. Seismology and Geology, 1998,20(2):135-145. (in Chinese))

Impact of Land Use and Climate Change on Water Inflow Variation in the Miyun Reservoir

HUANG Junxiong^{1,3}, LIU Zhaofei², ZHANG Hang^{1,3}, HAN Li^{1,3}

(1. Beijing Water Science and Technology Institute, Beijing 100048, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. Beijing Engineering Technique Research Center for Exploration and Utilization of Non-conventional Water Resources and Water Use Efficiency, Beijing 100048, China)

Abstract: This paper evaluated the impacts of land use and climate changes on water inflow variation in the Miyun Reservoir by applying multi-methods. Firstly, the all periods Mann-Kendall trend test method was applied to detect trends of precipitation and runoff in each period. Spatial and temporal characters of land use change was also analyzed. Then, the hydrological budget balance method was used to evaluate impact of climate and land use changes on runoff in the reservoir catchment. Finally, the double mass curve method was applied to detect abrupt changing point of the relationship of precipitation-runoff. The results show that the trend of water inflow variation in the Miyun Reservoir is significantly decreased during 1960-2016. Land use change and increasing water consumption by human activities are the main reasons for decreased runoff after 1980s. Land use change lead to the decrease of evapotranspiration, and its' contribution rate to the runoff change reaches 60%.

Key words: land use change; climate change; water balance; runoff; earthquake; Miyun Reservoir