1963—2014 年呼伦湖流域降水对径流量变化的影响

王静洁，李畅游，孙 标，樊才睿，梁丽娥，韩知明
（内蒙古农业大学 水利与土木建筑工程学院，内蒙古 呼和浩特 010018）

摘 要：[目的] 分析呼伦湖流域降水对径流量变化的影响，为流域水资源可持续利用和高效配置提供可参考依据。[方法] 根据呼伦湖流域阿拉坦额莫水文站 1963—2014 年水文气象数据，采用累积距平法和 Mann-Kendall 法结合对呼伦湖流域 50 a 径流和降雨年际变化趋势进行分析，确定出 2 个拐点年份，用累积量斜率变化率比较法评估降水对呼伦湖流域径流变化的影响。[结果] 拐点年出现在 1972，1999 年，以初始研究阶段 T_1（1963—1972 年）为基准期，不考虑潜在蒸散量变化的影响，T_2（1973—1999 年）和 T_3（2000—2014 年）时期的降水量减少对于径流量减少的贡献率分别为 0，40.70%。[结论] 21 世纪年代以后降水与径流明显偏少，年径流量与降水量有很好的线性相关关系，降水减少是径流减少的主要原因。近年来人口增多，畜牧业发展昌盛，也对径流有一定的影响。

关键词：降水；径流；呼伦湖流域；贡献率
文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2017)02-0115-05 **中图分类号**：TV121.1

文献参数：王静洁，李畅游，孙标，等. 1963—2014 年呼伦湖流域降水对径流量变化的影响[J]. 水土保持通报，2017，37(2)：115-119. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2017.02.016；Wang Jingjie，Li Changyou，Sun Biao，et al. Impacts of Precipitation on Runoff Yield of Hulun Lake Basin During 1963—2014[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2017，37(2)：115-119. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2017.02.016

Impacts of Precipitation on Runoff Yield of Hulun Lake Basin During 1963—2014

WANG Jingjie，LI Changyou，SUN Biao，FAN Cairui，LIANG Lie，HAN Zhiming
（*Inner Mongolia Agricultural University*，*Water Conservancy and Civil Engineering College*，*Hohhot*，*Inner Mongolia* 010018，*China*）

Abstract：[Objective] The effect of precipitation on runoff sequence of Hulun Lake during 1963—2014 was analyzed to provide reference for sustainable utilization and efficient configuration of river basin water resources. [Methods] Based on the observed data of Hulu Lake Station during 1963—2014，we used the methods of cumulative anomaly and Mann-Kendall to illustrate the change trend of precipitation and runoff and to demonstrate change ratio of cumulative quantity slope. We calculated quantitatively the contribution rate of the precipitation and human activities on runoff. [Results] Two inflection points occurred in 1972 and 1999. According to the two points，the cumulating process of the variables was divided into three periods，1963—1972(T_1)，1973—1999 (T_2) and 2000—2014(T_3). Taking T_1 as the base referred period，the contribution rates of the precipitation to the decrease of runoff were 0 in T_2，and 40.7% in T_3. [Conclusion] Since the twenty-first century，the precipitation and runoff were obviously less. Annual runoff and precipitation had a good linear correlation. And the precipitation reduction was the main reason for the decrease of runoff. In recent years，population increased and animal husbandry development have their certain influence yet.

Keywords：**runoff**；**precipitation**；**contribution rate**；**Hulun Lake basin**

影响河川径流变化两大因素是气候变化和人类活动[1]。气候变化引起的降水变化对水资源的变化起着重要作用[2]，降水的变化可以直接导致河川径流的变化，气温可以通过改变蒸散发对径流产生影

收稿日期：2016-06-25 **修回日期**：2016-07-27
资助项目：国家自然科学基金项目“冻融过程中湖泊污染物多介质迁移转化规律及机制研究”(51339002)，基于 3S 技术的呼伦湖水环境演化及湿地生态响应机制研究(51409288)；内蒙古农业大学优秀青年科学基金项目(2014XYQ-10)
第一作者：王静洁(1991—)，女(汉族)，河北省张北县人，硕士研究生，研究方向为农业水资源保护与利用。E-mail：wangjingjie1603@163.com。
通讯作者：李畅游(1955—)，男(汉族)，内蒙古自治区呼和浩特市人，博士，教授，博士生导师，主要从事水污染控制方面的研究。E-mail：nndlichangyou@163.com。

响[3-4]。在全球变暖的趋势下,中国一些区域气温逐渐上升,水资源问题增多,河流径流量减少[5-7]。近几十年来,随着社会进步,人口增加、城市化进程加快,加剧了水资源供需矛盾,水短缺问题日益凸显[8]。学术界广泛认为在研究流域河川径流量变化时应当是气候和人类活动二者叠加后的效应。国内学者对于流域径流变化方面的研究已逐步从定性分析过渡到定量解析的阶段[8-12],对于两大因素对径流量变化的贡献率也进行了许多分解探讨[13-18]。中国北方寒旱地水资源时空分布变异性大,生态系统脆弱,在草原型内陆河流域地区尤为显著[19-20]。研究此区域的径流的年际变化情况,定量分析降雨量的贡献率,为将来流域水资源可持续利用和高效配置提供可参考依据。气候变化对径流影响的研究方法主要有:(1) 时序分析法;(2) 不同步长的滑动平均分析法;(3) 拐点分析法,如距平累计值、Mann-Kendal 秩次趋势分析法等;(4) 归因分析法,如多元统计方法等。本文利用年径流量以及年降水量的累积距平分析方法和 M-K 法判断拐点年份,以拐点年份为界,通过累积量斜率变化率确定降水量和对径流量减小的贡献率。

呼伦湖又名达赉湖,是中国第 5 大湖,亚洲中部草原区的最大的湖,克鲁伦河位于呼伦湖的西南部,发源于蒙古国肯特山南麓,河长 1 264 km,中国境内长 206 km。1963—1980 年克鲁伦河年径流量约 5.0×10^8 m^3;1981—1999 年 6.0×10^8 m^3,从 2000 年至今,克鲁伦河的水量出现了有记载历史以来的最小值,连续近 10 a 为枯水年,克鲁伦河的平均径流量不足 2.0×10^8 m^3,月径流的峰值出现在每年的 10 月,每年的 12 月到翌年 3 月基本无径流量,这是由于在冬季克鲁伦河流域全面封冻,到春天气候转暖后才逐渐有流量产生。

1 材料与方法

1.1 数据整编

全面收集和整编 1963—2014 年呼伦湖流域克鲁伦河降水及径流数据,对于个别年份径流资料缺测的,基于水文比拟方法,按气候和下垫面相似性对站点观测序列缺失数据进行插补展延,组成完整的径流与降水序列。

1.2 研究方法

采用 Mann-Kendall(M-K)检验方法对气候要素序列进行降水序列突变检测,判断突变年份与气候要素变化趋势[21],若 UF 值大于 0,则表明序列呈上升趋势,若小于 0,则表明呈下降趋势,当超过置信水平时,表明上升(下降)趋势显著。如果 UF 和 UB 的两条曲线出现交点,且交点位于置信区间内,那么交点对应的时刻即是突变开始的时刻。

累积距平法(CA)[22-23]是通过观察差积曲线判断数据点离散程度和变化趋势的一种非线性统计方法。该方法可以判断离散数据与其均值之间离散幅度的大小,若得到的累积距平值>0,表明离散数据>均值,反之则<均值,如果差积曲线包括以上两部分,则可用来确定变化趋势的拐点。CA 法可以直接反映不同时期径流量的变化进程,判断降水量和径流量的突变年份且突变点较为清晰,双累积量在拐点前后的线性拟合程度较好。以确定出的突变年份为界分为基准期和措施期,与基准期相比,在措施期人类活动对于径流的影响扰动较大。

累积量斜率变化率比较法[11]假设累积径流量年份线性关系式的斜率在拐点前后两个时期分别为 S_{Rb} 和 S_{Ra}(10^8 m^3/a)累积降水量年份线性关系式的斜率在拐点前后 2 个时期分别为 S_{Rb} 和 S_{Ra}(mm/a),则累积径流量斜率变化率 R_{SR}(%)为:

$$R_{SR}=100\times(S_{Ra}-S_{Rb})/S_{Rb}=100\times(S_{Ra}/S_{Rb}-1) \quad (1)$$

累积降水量斜率变化率 R_{Sp}(%)为:

$$R_{Sp}=100\times(S_{pa}-S_{pb})/S_{pb}=100\times(S_{pa}/S_{pb}-1) \quad (2)$$

式中:R_{SR},R_{Sp}——正数表示斜率增大,负数表示斜率减小。降水量变化对径流量变化的贡献率 C_p(%)可以表示为:

$$C_p=100\times R_{sp}/R_{SR}=100\times(S_{pa}/S_{pb}-1)/(S_{Ra}/S_{Rb}-1) \quad (3)$$

2 结果与分析

2.1 降水的年际和年代际变化

呼伦湖流域克鲁伦河 1961—2014 年降雨量多年平均值 236.96 mm,标准差 95.03 mm,变差系数 0.40。图 1 给出了呼伦湖流域克鲁伦河年降水量距平及 5 a 滑动平均变化曲线。由图 1 可见,克鲁伦河年降水量有明显的年际年代变化特征。年降雨量最大值是 577.4 mm,最小为 102.8 mm。其中 1980—2000 年变化幅度较大,但总体趋势较为稳定,2000—2014 年降雨量减少。

2.2 径流的年际和年代变化

克鲁伦河 1963—2014 年径流量的平均值 4.48×10^8 m^3/s,标准差 2.64,变差系数 0.59,图 1 分别为克鲁伦河 1963—2014 年径流量距平及 5 a 滑动平均变化曲线。有图 1 可以看出,克鲁伦河年径流有明显的年际、年代际的变化特征。1963—2014,1990 年径流量最大为 1.01×10^9 m^3/s,2007 年径流量最小为 3.90×10^7 m^3/s。1963—2014 年中,从年代际的

变化来看,20 世纪 60—90 年代径流量较为平稳,70—90 年代径流量较少低于前期和后期,且从 80 年代中期到 20 世纪初期波动较为剧烈,21 世纪初期径流量显著下降,21 世纪 10 年代径流量显著增加。

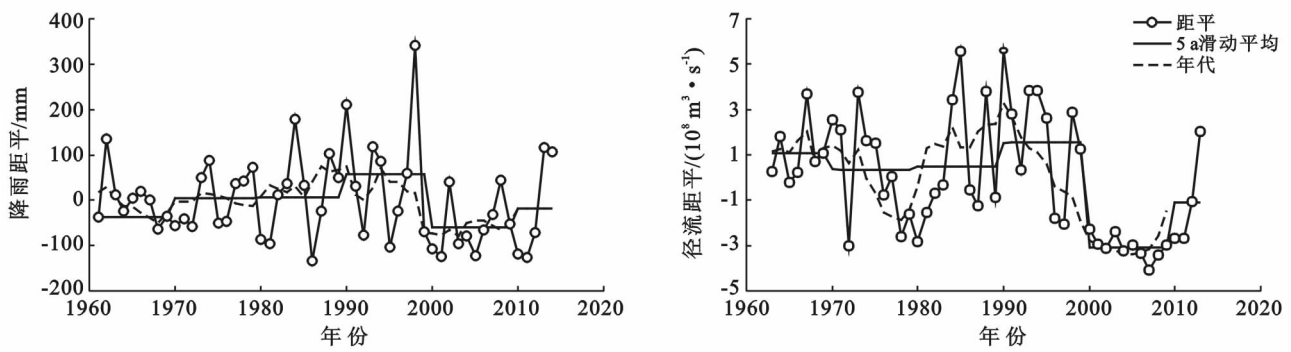


图 1　呼伦湖流域克鲁伦河 1961—2014 年降雨和径流距平(相对于 1961—2014 年)及 5 a 滑动平均变化

2.3　降雨量与径流量的相关性

河川径流是大气降水与流域下垫面和蒸散发共同作用的产物,降水的变化会影响河川径流的变化,气温也可通过改变蒸散发对径流造成影响[21]。虽然径流的变差系数大于降水,但年际波动大的时期都出现在 20 世纪 80 年代中后期 21 世纪初期。克鲁伦河 20 世纪 70 年代到 21 世纪 10 年代,一般降水多的季节对应的径流也大。

2.4　降雨量与径流量的拐点年份

由图 2 累积距平图可以得出,1963—2014 年克鲁伦河年径流累积距平呈现先上升后下降再上升的 M 形趋势,1963—1975 年呈现上升趋势,1976—1983 呈现下降趋势,1984 开始上升 1999 年达到峰值。用 Mann-Kendall 法对克鲁伦河 1963—2014 年平均径流进行突变检验分析。由图 3 可以看出,UF 曲线在 1963—1971 年呈现波动小幅度上升的趋势,1972—1983 之后呈现下降趋势,1984—1999 年转为上升趋势,2005 超过了显著性水平 0.05 的置信水平。UF 曲线在置信区间内与 UB 曲线有一个交点(1999—2000 年)。径流突变可能发生在 1999 年左右(图 4)。结合两种方法的分析结果,判断克鲁伦河年径流在 1999—2000 年发生了由丰水到枯水的突变。

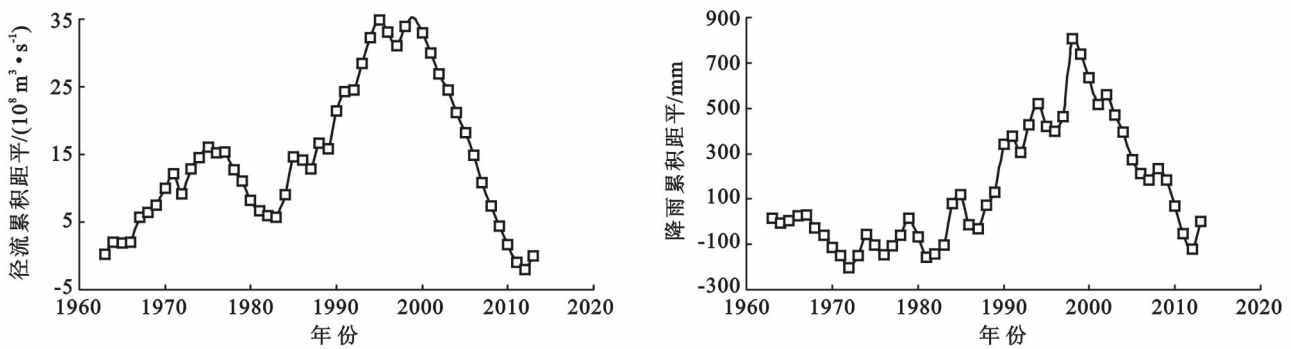


图 2　克鲁伦河 1963—2014 年径流和年降雨量累积距平曲线

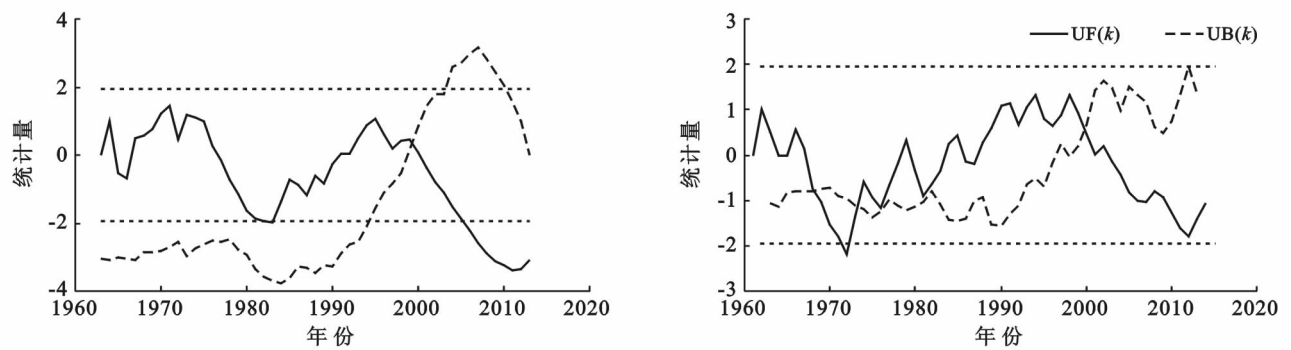


图 3　克鲁伦河年径流和年降雨量 M-K 法统计量(临界值显著性水平 $\alpha=0.05$)

年降雨量的 Mann-Kendall 法检验结果显示 1961—1971 年波动下降，1972—1999 波动上升，在 UF 线在置信区间内与 UB 线有 5 个交点（1968，1973，1975，1976—1977 年，1999—2000 年）。累积距平分析表明，1961—2014 年克鲁伦河降雨量存在明显的变化趋势，1961—1965 年有小幅度上升趋势，1966—1972 年明显下降并在 1972 年达到最小值，1972—1999 年波动上升，1999 年为峰值，2000—2011 年降雨量呈减少趋势。据此推断 1972 和 1999 年可能是降雨发生的突变年份。结合两种方法分析，1972 年可能年降雨量从少变多，1999 年降雨量由多变少的突变

如图 4 所示，降水量—径流量双累积曲线（DMC）中双累积量之间具有较好的线性拟合关系（$R^2>0.94$，$p<0.05$），判断拐点年份为 1972 和 1999 年。虽然在 20 世纪 70 年代变化不是特别明显。综上所述，确定径流量和降水量的拐点年份分别为 1972，1999 年，其中 1999 年为突变年。在拐点 1972 年之前人类活动较为轻微，因此气候因素影响是导致径流量变化的主要因素，将 1963—1972 年确定为基准期。1972 年之后是气候因子和人类活动共同作用的措施期，径流量在 1999 年发生突变说明受气候和人类活动的影响程度加大。

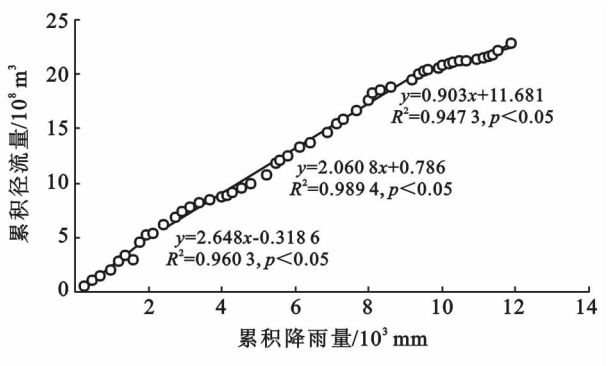


图 4 克鲁伦河流域降雨—径流量双累积曲线变化趋势

2.5 径流与降水的关系

根据拐点年份的确定（图 5），将累积径流量变化序列中 2 个拐点分割的 3 个时期 1963—1972 年，1973—1999 年，2000—2014 年分别称为 T_1，T_2 和 T_3 时期。T_2 与 T_1 时期相比，累积径流量—年份线性关系式的斜率减少 3.14×10^7 m³/a，减小率为 5.47%（表 1）。同时期相比，累积降水量—年份线性关系式的斜率没有变化（表 2）。这段时期径流量减少是蒸散发量等气候因素引起的与人类活动基本没有关系。根据式（1）—（3）计算 T_2 与 T_1 时期求得降雨变化对径流的贡献率为 0，可能是由于降雨对径流的影响有一定的滞后性，而且克鲁伦河发源于地即上游的气候条件也会产生一定影响，多种原因导致 T_2 对 T_1 时期的贡献率计算为零。

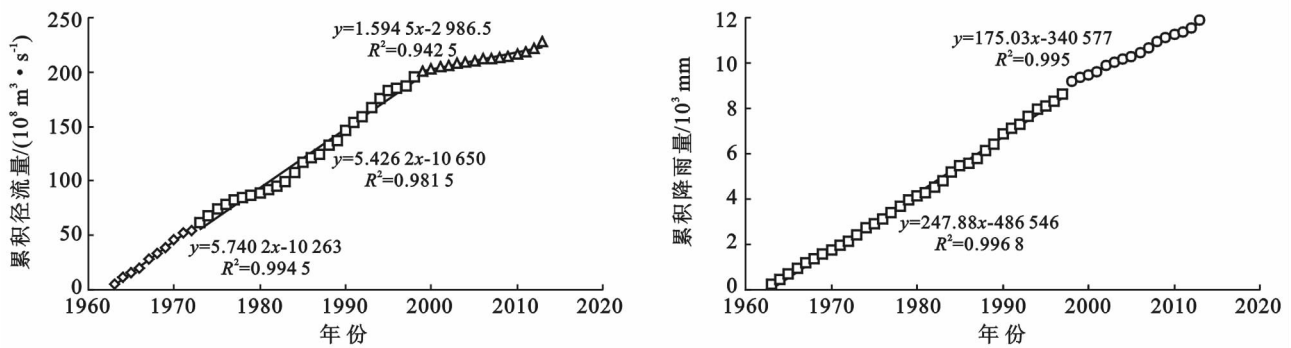


图 5 克鲁伦河年份与累积径流量和累积降雨量之间的关系

T_3 与 T_1 时期相比，累积径流量—年份线性关系式的斜率减少 $4.145\ 7\times10^8$ m³/a，减小率为 72.22%（表 1）。这是降水量减少和人类活动共同引起的。同时期相比，累积降水量—年份线性关系式的斜率减少 72.85 mm/a，减小率为 29.39%（表 2）。根据式（1）—（3）计算 T_3 与 T_1 时期求得降雨变化对径流的贡献率为 40.70%，是由于人类活动增加，畜牧业发展速度对对河流影响较大。

T_3 与 T_2 时期相比，累积径流量—年份线性关系式的斜率减少 $3.831\ 7\times10^8$ m³/a，减小率为 70.61%（表 1）。同时期相比，累积降水量—年份线性关系式的斜率减少 72.85 mm/a，减小率为 29.39%（表 2）。根据式（1）—（3）计算 T_3 与 T_2 时期求得降雨变化对径流的贡献率为 41.61%。T_2 和 T_1 与 T_3 期径流量减少相似，而降雨减少率相同，所以两个时期降雨对径流的影响相似。

表 1　呼伦湖流域累积径流量斜率及其变化率

时 期	累积径流量年份线性关系式斜率/(10^8 m^3 · a^{-1})	累积径流量斜率与时段 T_1 比较		累积径流量斜率与时段 T_2 比较	
		变化量/(10^8 m^3 · a^{-1})	变化率/%	变化量/(10^8 m^3 · a^{-1})	变化率/%
T_1:1963—1972 年	5.740 2	—	—	—	—
T_2:1973—1999 年	5.426 2	—0.314	—5.47	—	—
T_3:2000—2014 年	1.594 5	—4.145 7	—72.22	—3.831 7	—70.61

表 2　呼伦湖流域累积降水量斜率及其变化

时 期	累积降雨量年份线性关系式斜率/(10^8 m^3 · a^{-1})	累积径流量斜率与时段 T_1 比较		累积径流量斜率与时段 T_2 比较	
		变化量/(10^8 m^3 · a^{-1})	变化率/%	变化量/(10^8 m^3 · a^{-1})	变化率/%
T_1:1963—1972	247.88	—	—	—	—
T_2:1973—1999	247.88	—	—	—	—
T_3:2000—2014	175.03	—72.85	—29.39	—72.85	—29.39

3　讨论与结论

前人对于克鲁伦河流域径流量已做的研究主要集中于周期,如乌云娜[24]分析了气温和降水的年际和四季的变化特征,没有细致地描述径流在年际上的突变特征,仅判断出径流量和气温的变化趋势,未查明拐点年份,只定性的分析了气候因素、人类活动潜在因素对克鲁伦河径流产生的影响,本研究通过累积距平法确认出的拐点年份,并且通过划分不同时段对径流变化的影响因素进行了定量解析。本文分解出的人类活动影响的贡献率,由于各因子间的相互作用十分复杂,因此,如何进一步定量区分各因子对径流变化的影响有待深入研究。

1963—2014 年呼伦湖流域径流和降水都表现为明显减少趋势,克鲁伦河径流量变化较为剧烈,波动较大。2012 年开始降雨量和年径流量有上升趋势。利用累积径流量和累积降雨量与相应年份之间做统计分析,所得线性关系式的相关系数除 1972—1999,2000—2014 年累积径流量为 0.981 5,0.944 8 外,其余均满足 0.99。累积距平法(CA)与 Mann-Kendall 两种方法判断拐点年份确定克鲁伦河径流量和降雨量突变年为 1999 年拐点年为 1972 和 1999 年。通过累积量斜率变化率比较法有效计算径流量变化中降雨量的贡献率,克鲁伦河以 1963—1972 年为基准期,利用该计算方法得出克鲁伦河径流量减少的降雨量在 1972—1999 年相对贡献率为 40.70%,在 2000—2013 年相对贡献率为 41.61%。除去降雨量对径流的影响主要为人类活动的影响,近年来人口增多,畜牧业发展昌盛,对径流有一定的影响。本研究结果计算了呼伦湖克鲁伦河流域近半个世纪以来径流量的变化趋势及其主要影响因素的贡献率,对于未来水资源的开发利用具有重要意义,所提出的定量研究方法可以应用在寒旱地区河流径流量变化及其影响因素的定量评估中。

[参 考 文 献]

[1] Zhan Chesheng, Zeng Sidong, Jiang Shanshan, et al. An integrated approach for partitioning the effect of climatechange and human activities on surface runoff [J]. Water Resources Management, 2014, 28(11): 3843-3858.

[2] 吴绍洪,黄季焜,刘燕华,等. 气候变化对中国的影响利弊[J]. 中国人口·资源与环境,2014,24(1):7-13.

[3] 范利杰,穆兴明,赵广举. 近 50 年嘉陵江流域径流变化特征及影响因素[J]. 水土保持通报,2013,23(1):12-17.

[4] 王国庆,张建云,贺瑞敏,等. 黄河中游气温变化趋势及其对蒸发能力的影响[J]. 资源与水工程学报,2007,18(4):32-36.

[5] 邢子强,严登华,鲁帆,等. 人类活动对流域旱涝事件影响研究进展[J]. 自然资源学报,2013,28(6):1070-1082.

[6] 夏军,邱冰,潘兴瑶,等. 气候变化影响下水资源脆弱性评估方法及其应用[J]. 地球科学进展,2012,27(4):443-451.

[7] 陈亚宁,杨青,罗毅,等. 西北干旱区水资源问题研究思考[J]. 干旱区地理,2012,35(1):1-9.

[8] 焦玮,朱仲元,宋小园,等. 近 50 年气候和人类活动对锡林河流域径流的影响[J]. 中国水土保持科学,2015,13(6):12-19.

[9] 赵晓坤,王随继,范小黎. 1954—1993 年窟野河径流量变化趋势及其影响因素分析[J]. 水资源与水工程学报,2010,21(5):32-36.

[10] 李志,刘文兆,郑粉莉,等. 黄土塬区气候变化和人类活动对径流的影响[J]. 生态学报,2010,30(9):2379-2386.

(下转第 125 页)

[5] 王宗明,张柏,宋开山,等.松嫩平原作物现实生产力空间分布影响因素分析[J].干旱区资源与环境,2007,21(7):85-91.

[6] 赵其国,钱海燕.低碳经济与农业思考[J].生态环境学报,2009,18(5):1609-1614.

[7] Prince S D, Haskrtt J, Steinger M, et al. Net primary production of U. S. Midwest croplands from agricultural harvest yield data[J]. Ecological Applications, 2001, 11(4):1194-1205.

[8] 师银芳,赵军.张掖市农田生态系统碳源/汇时空分布特征[J].水土保持通报,2015,35(4):283-287.

[9] 莫宏伟,刘礼英,任志远,等.农牧交错区耕地净第一性生产力动态变化研究:以陕西榆林市榆阳区为例[J].干旱地区农业研究,2007,25(1):15-20.

[10] 苏本营,张璐,陈圣宾,等.区域农田生态系统生产力的时空格局及其影响因子研究:以山东省为例[J].生态环境学报,2010,19(9):2036-2041.

[11] 张智全,黄高宝,李广.陇东耕地净第一性生产力与生态服务价值分析[J].中国沙漠,2011,31(6):1516-1520.

[12] 刘文超,颜长珍,秦元伟,等.近 20 年陕北地区耕地变化及其对农田生产力的影响[J].自然资源学报,2013,28(9):1373-1382.

[13] 罗玲,王宗明,宋开山,等.2000—2006 年松嫩平原农田生产力时空特征与影响因素研究[J].农业系统科学与综合研究,2010,26(4):468-474.

[14] 朱峰,刘志明,王宗明,等.东北地区农田净初级生产力时空特征及其影响因素分析[J].资源科学,2010,32(11):2079-2084.

[15] 马强,宇万太,沈善敏,等.旱地农田水肥效应研究进展[J].应用生态学报,2007,18(3):665-673.

[16] 张树文,张养贞,李颖,等.东北地区土地利用/覆盖时空特征分析[M].北京:科学出版社,2006.

[17] 国志兴,王宗明,刘殿伟,等.基于 MOD17A3 数据集的三江平原低产农田影响因素分析[J].农业工程学报,2009,25(2):152-155.

[18] Stow D, Daeschner S, Hope A, et al. Variability of the seasonally integrated normalized difference vegetation Index across the north slope of Alaska in the1990s [J]. International Journal of Remote Sensing, 2003,24(5):1111-1117.

[19] Lobell D B, Hicke J A, Asner G P, et al. Satellite estimates of productivity and light use efficiency in the United States agriculture, 1982-1998 [J]. Global Change Biology, 2002,8(8):722-735.

[20] 张福春,朱志辉.中国作物的利用指数[J].中国农业科学,1990,23(2):83-87.

[21] 苏本营,张璐,陈圣宾,等.区域农田生态系统生产力的时空格局及其影响因子研究:以山东省为例[J].生态环境学报,2010,19(9):2036-2041.

(上接第 119 页)

[11] 王随继,闫云霞,颜明,等.皇甫川流域降水和人类活动对径流量变化的贡献率分析:累积量斜率变化率比较方法的提出及应用[J].地理学报,2012,67(3):388-397.

[12] 王随继,李玲,颜明.气候和人类活动对黄河中游区间产流量变化的贡献率[J].地理研究,2013,32(3):395-402.

[13] 张调风,朱西德,王永剑,等.气候变化和人类活动对湟水河流域径流量影响的定量评估[J].资源科学,2014,36(11):2256-2262.

[14] 王宝鉴,宋连春,张强,等.石羊河流域水资源对气候变暖的响应及对生态环境的影响[J].地球科学进展,2007,22(7):730-737.

[15] 韩永刚,王维明,杨玉盛.闽北不同土地利用方式径流量动态变化特征[J].水土保持通报,2006,26(5):262-266.

[16] 李加强,陈亚宁,李卫红,等.天山北坡中小河川降水与径流变化特征:以精河为例[J].干旱区地理,2010,33(4):615-622.

[17] 陈忠升,陈亚宁,李卫红,等.塔里木河干流径流损耗及其人类活动影响强度变化[J].地理学报,2011,66(1):89-98.

[18] 邓振镛,张强,王润元,等.河西内陆河径流对气候变化的响应及其流域适应性水资源管理研究[J].冰川冻土,2013,35(5):1267-1275.

[19] 张晓晓,张钰,徐浩杰,等.河西走廊三大内陆河流域出山径流变化特征及其影响因素分析[J].干旱区资源与环境,2014,28(4):66-72.

[20] 李春梅,高素华.我国北方干旱半干旱地区水资源演变规律及其供需状况评价[J].水土保持学报,2002,16(2):68-71.

[21] 丁晶,邓育仁.随机水文学[M].成都:成都科技大学出版社,1988.

[22] Fu Congbin, Wang Qiang. The definition and detection of the abrupt climatic change[J]. Scientia Atmospherica Sinica, 1992,16(4):482-493.

[23] 高诞源,叶寿征,张君友,等.水文下垫面分析与分类初探[J].水文,1999,19(4):13-18.

[24] 乌云娜,张凤杰,冉春秋.近 50 年蒙古高原东部克鲁伦河流域气候变化分析[J].大连民族学院学报,2009,11(3):193-195.