

基于洛伦兹曲线的图们江干流区间 径流分布不均匀性分析

徐万玲^{1,2}, 朱卫红^{1,2}, 张健^{1,2}, 郑小军^{1,2}, 金辉^{1,2}

(1. 延边大学 理学院地理系, 吉林 延吉 133000; 2. 长白山生物资源与功能分子教育部重点实验室, 吉林 延吉 133000)

摘要: [目的] 为水土流失、旱涝灾害等的成因分析提供科学依据。[方法] 采用构建的基尼系数径流分布不均匀性模型, 对图们江干流区间南坪、开山屯、河东及圈河站 1959—2011 年的(年)径流量、(月径流年内分配)基尼系数和(月径流年内分配)洛伦兹不对称系数的系列进行统计分析, 应用 Mann—Kendall 方法进行趋势分析与检验。[结果] 4 个水文站的年径流量均呈下降趋势。南坪和开山屯站的基尼系数呈上升趋势, 河东和圈河站呈下降趋势; 4 个水文站点的(月径流年内分配)洛伦兹不对称系数均呈上升趋势。4 个水文站在 1961, 1965 和 1979 年洛伦兹不对称系数均波动较大且大于 1。这主要由径流量大的月份引起的, 另外, 同期也是历史上水旱灾害发生的年份。[结论] 洛伦兹曲线可以以一种新视角量化评价径流分配的时间不均匀性及其成因。

关键词: 洛伦兹曲线; 基尼系数; 径流; 图们江流域

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2015)01-0128-05

中图分类号: TV121

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.01.024

Analysis on Temporal Inhomogeneity of Runoff in Tumen River Mainstream Based on Lorenz Curve

XU Wanling^{1,2}, ZHU Weihong^{1,2}, ZHANG Jian^{1,2}, ZHENG Xiaojun^{1,2}, JIN Hui^{1,2}

(1. *Geography Department, College of Sciences, Yanbian University, Yanji, Jilin 133000, China;*

2. *Key Laboratory of Natural Resources of Changbai Mountain & Functional Molecules, Yanji, Jilin 133000, China*)

Abstract: [Objective] To provide a scientific basis for analyzing the causes of soil erosion, droughts and floods. [Methods] After building the Gini coefficient runoff uneven distribution model, annual runoff, Gini coefficient and Lorenz asymmetry coefficient (annual distribution of monthly runoff) in four hydrometric stations (Nanping, Kaishantun, Hedong and Quanhe) from 1959 to 2011 were statistically analyzed. Mann—Kendall method was employed to do trend analysis and test in annual runoff. [Results] The annual runoffs in the four hydrometric stations showed a decreasing trend during the past years. The Gini coefficient in Nanping and Kaishantun showed an increase tendency, while it showed a decrease trend in Hedong and Quanhe station. The Lorenz asymmetry coefficient in the four hydrological stations showed an upward trend, and the values were greater than 1 for the four stations in 1961, 1965 and 1979, which was mainly caused by the months with large runoff volume, it is also period when drought and flood happened in history. [Conclusion] The Lorenz curve can be used to quantify and evaluate the temporal variation of runoff and its influential factor in a new perspective.

Keywords: Lorenz curve; Gini coefficient; runoff; Tumen River

全球气候变暖影响着诸多自然要素, 水资源是受其影响最大的自然要素之一^[1]。径流作为重要的水平衡指标反映着一个地区水资源的丰缺程度, 流域径

流量的不断减少将严重制约着区域社会、经济等的可持续发展, 因此, 国内外学者密切关注径流量及其影响因子的变化。金明姬等^[2]指出布尔哈通河的径流

收稿日期: 2014-02-24

修回日期: 2014-03-14

资助项目: 国家自然科学基金项目“图们江流域湿地生态安全评价及生态修复机制研究”(41361015), “近 50 a 图们江流域湿地景观格局动态变化过程及生态环境效应研究”(40961011); 吉林省科技发展计划项目(20100740, 20130206007SF)

第一作者: 徐万玲(1986—), 女(汉族), 吉林省集安市人, 硕士研究生, 研究方向为环境生态学。E-mail: wswl2009@163.com。

通信作者: 朱卫红(1971—), 女(朝鲜族), 吉林省延吉市人, 博士, 教授, 主要从事湿地生态学、景观生态学。E-mail: whzhu@ybu.edu.cn。

分布不均匀。潘扎荣等^[3]、张丹荣等^[4]从均匀度和集中度等方面分别分析了淮河干流径流和海流兔河径流的年内分配的时空变化特征及趋势变化,结果表明,河川径流的时空变化直接影响着流域水资源的配置、开发和利用。本文基于图们江干流 4 个水文站 1959—2011 年的实测径流数据,鉴于“基尼系数”的构建思路,采用洛伦兹曲线特征分析,应用 Mann—Kendall 趋势分析和相关分析等方法,对该流域径流的年内分布的均匀度进行定量分析,试图全面、客观地评估径流的时间分布趋势,为区域合理规划水资源,优化产业布局,管理农业生产、促进社会发展提供参考。

1 研究区概况

图们江流域主要位于吉林省东部的延边朝鲜族自治州境内,地理坐标为 $41^{\circ}59'47''$ — $44^{\circ}30'42''$ N, $127^{\circ}27'43''$ — $131^{\circ}18'33''$ E,地处中、俄、朝 3 国的交界,面临日本海,全流域面积 $33\,168\text{ km}^2$,其中,中国一侧面积为 $22\,448\text{ km}^2$ 。图们江左岸中国一侧的主要支流有红旗河、嘎呀河、布尔哈通河、海兰河、琿春河。该地区属于中温带湿润季风气候,主要特点是季风明显,春季干燥多风,夏季温热多雨,秋季凉爽少雨,冬季寒冷期长。该流域受季风气候的影响,径流量年内变化较大,6—9 月径流量占年径流量的 $65\% \sim 70\%$ ^[5-7]。

本文选取分布于图们江干流区间的 4 个水文站点 1959—2011 年实测日径流量和年径流量序列进行分析^[5]。所选的站点分布于该流域的上、中、下游,能够反映整个流域的径流变化及分布状况。

2 研究方法

2.1 基本原理

洛伦兹曲线是统计学家 M. Lorenz 提出的用来描述收入或财富分配不均匀度的一种方法。洛伦兹曲线可以用图 1 来表示,其在坐标系中的意义为:横轴 x 代表收入不高于某一水平的人数占总人数的百分比,纵轴 y 代表相应的收入额占总收入的百分比。曲线上任意一点的含义是某一百分比的人口收入的百分比。洛伦兹曲线为一向外凸的曲线。图 1 中 OA 为绝对均匀线(或称绝对平等线),即财富分配绝对平等;折线 OAB 表示绝对不平等线。洛伦兹曲线 $y=f(x)$ 位于 OA 和 OAB 之间,当曲线距离 OA 越近时表示地区间收入差距越小,财富分配较为平等;反之,则表示地区间收入差距越大,财富分配越不平等^[8-11]。

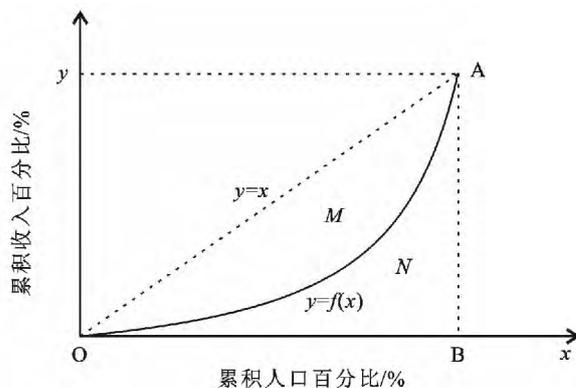


图 1 洛伦兹曲线

基尼系数是意大利经济学家基尼于 1922 年在洛伦兹曲线的基础上提出的,利用累积数学绘制成的曲线来刻画不平等(集中或分散)程度,基尼系数是洛伦兹曲线图 1 中 $y=x$ 和 Lorenz 曲线之间的面积(M)和绝对均匀线与绝对不均匀线之间的面积($M+N$)之比^[2,8-12]。

基尼系数并没有包括所有的洛伦兹曲线信息,而且不同的洛伦兹曲线可以有相同的基尼系数,这种具有相同基尼系数不同洛伦兹曲线的差异可以用洛伦兹不对称性来表示。洛伦兹不对称系数是丹麦植物学家 Christian Damgaard 和 Jacob Weiner 根据洛伦兹曲线提出的,表示不同等级群体总的不均性贡献的多少,用于解释不均匀性产生的来源。洛伦兹系数的变动范围为: $S < 1$ 或 $S > 1$ 。当 $S=1$ 时,洛伦兹曲线对称;当 $S > 1$ 时,与均匀线平行的部分洛伦兹曲线数据点位于对称轴的上方; $S < 1$ 时,与均匀线平行的部分洛伦兹曲线数据点位于对称轴的下方^[10,12]。

本文拟采用 Mann—Kendall ($M-K$) 趋势检验方法与相关分析^[13],对于介绍该方法的文献较多,在此不作阐述。

2.2 径流年内分配均匀度基尼系数模型的构建

根据基尼系数的计算方法,结合图们江干流区间径流变化情况,其基尼系数可按以下步骤构建:

(1) 将月径流量按升序排列,并计算累计百分比。(2) 对时间进行累积百分比累积。(3) 以时间累积与其总时间(月/a)的比值为自变量 x ,以径流月均值累积与其总和的比值为因变量 y ,经拟合后得到径流量时间分布的洛伦兹曲线: $y=f(x)$ 。(4) 根据洛伦兹曲线求出径流时间分布均匀度基尼系数和洛伦兹不对称系数,其意义为基尼系数越大表示径流要素分布均匀度越低,即越不均匀;反之,则表示均匀度越大,越均匀。洛伦兹不对称系数大于 1,说明造成年内分布不均匀性的原因是由于径流量较大的月份占年径流量的比例相对大,洛伦兹曲线不对称系数小

于 1, 说明是径流量较小的月份引起了年内径流分布的不均匀。

3 结果与分析

3.1 径流量不均匀性评价

利用基尼系数模型, 对图们江干流区间 4 个水文

站(南坪、开山屯、河东、圈河)1959—2011 年的年径流量和逐月径流资料的时间分布均匀度进行评价, 根据结果绘制流域年径流量、基尼系数和洛伦兹不对称系数随时间的变化趋势图(如图 2 所示)。表 1 表示 1959—2011 年图们江干流区间各水文站年径流量、基尼系数和洛伦兹不对称系数的趋势检验结果。

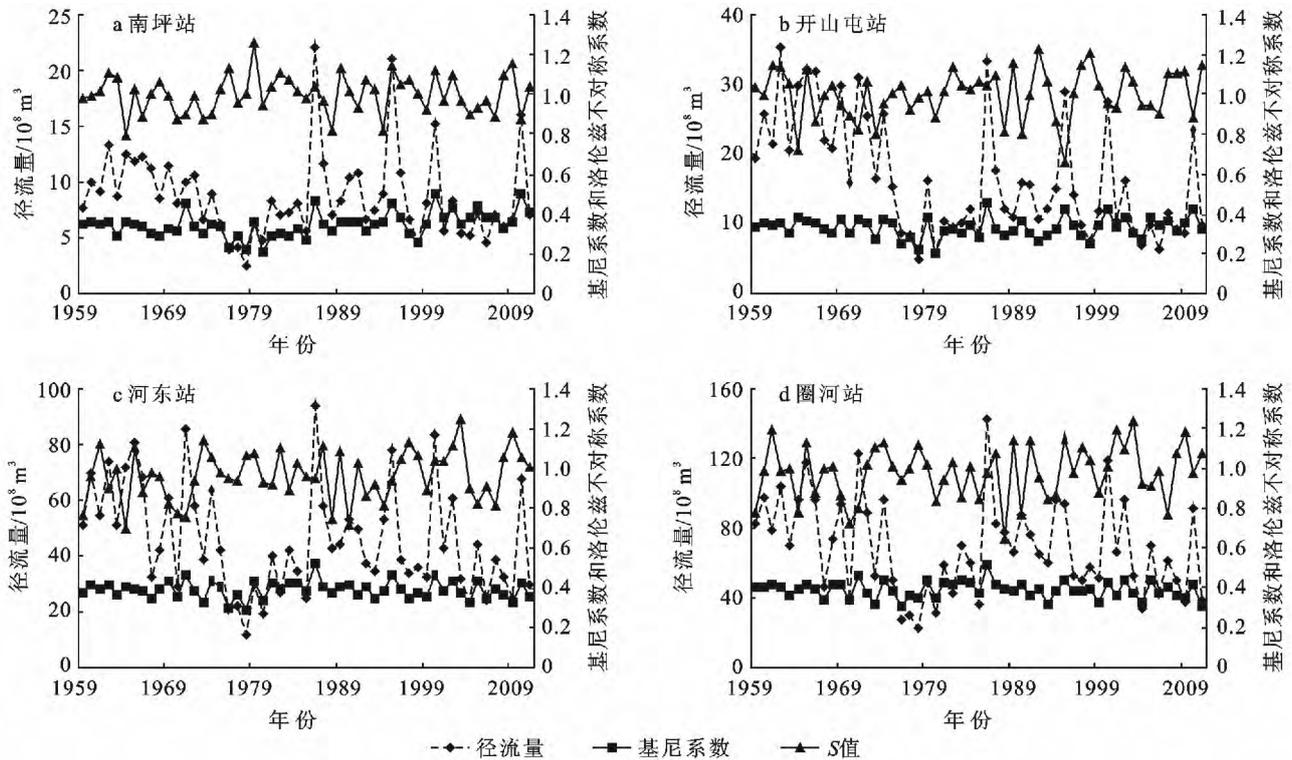


图 2 图们江干流区间各水文站年径流量、基尼系数和洛伦兹不对称系数(S)

3.2 评价结果分析

3.2.1 径流量、基尼系数和洛伦兹不对称系数的变化特征 南坪站 1959—2011 年的平均径流量为 $8.80 \times 10^8 \text{ m}^3$, 年径流呈下降趋势(图 2 a)。53 a 平均基尼系数为 0.348, 年基尼系数呈现上升趋势, 且径流趋势线的波动性有增强趋势, 洛伦兹不对称系数大于 1 的年份约占全部年份的 53%, 说明在这些年份中, 径流量年内分布的不均匀性主要是由于径流量较多的月份引起的。以 2000 年为例, 年径流量为 $1.52 \times 10^9 \text{ m}^3$, 基尼系数为 0.51, 洛伦兹不对称系数为 1.12, 6—9 月径流占全年径流量的 82%。年径流量与基尼系数和洛伦兹不对称系数的相关系数分别为 0.62 和 0.04, 说明径流量与基尼系数有相关性, 与洛伦兹不对称系数不相关。由表 1 可知, 南坪站的年径流量呈下降趋势, 且下降趋势不显著, 而基尼系数和洛伦兹不对称系数均呈显著上升趋势, 说明径流量逐年降低, 年内径流分布的不均匀性增强, 且径流量较大的

月份所占的比例较大。总体来看, 上游发生旱涝灾害的趋势增强, 且汛期涝灾的趋势较大。

开山屯站 1959—2011 年的平均径流量为 $1.66 \times 10^9 \text{ m}^3$, 年径流量呈现下降趋势(图 2 b), 下降趋势显著, 达到了 $\alpha=0.001$ 的显著性水平。53 a 平均基尼系数为 0.333, 基尼系数呈现上升趋势, 波动较平稳, 且变化趋势与南坪站相近。洛伦兹不对称系数大于 1 的年份占全部年份的 57%。年径流量与基尼系数和洛伦兹不对称系数的相关系数分别为 0.66 和 -0.26, 说明开山屯站径流量与基尼系数具有相关性, 与洛伦兹不对称系数不相关。由表 1 可知, 开山屯站年径流量呈现显著下降趋势, 基尼系数呈现上升趋势, 且两者均达到 $\alpha=0.001$ 的显著性水平, 洛伦兹不对称系数呈上升趋势, 但趋势不显著。图们江干流中游年径流量减少, 且年内分布均匀度下降, 而且径流量较大的月份所占比例较大, 可以推测中游容易发生干旱、洪涝灾害。

表 1 图们江干流区间各水文站年径流量、基尼系数和洛伦兹不对称系数的趋势检验结果

水文站	项目	Z	显著性	变化趋势
南坪	R	-0.128	不显著	下降
	G	-0.298***	显著	上升
	S	+0.254***	显著	上升
开山屯	R	-0.421****	显著	下降
	G	-0.383****	显著	上升
	S	-0.129	不显著	上升
河东	R	-0.311***	显著	下降
	G	+0.356****	显著	下降
	S	-0.009	不显著	上升
圈河	R	-0.177	不显著	下降
	G	+0.242**	显著	下降
	S	-0.231**	显著	上升

注:Z;M-K 检验值;R 径流量;G 基尼系数,S 洛伦兹不对称系数;**代表 $\alpha=0.05$ 的显著性水平;***代表 $\alpha=0.01$ 的显著性水平;****代表 $\alpha=0.001$ 的显著性水平。

河东站 1959—2011 年平均径流量为 $4.59 \times 10^9 \text{ m}^3$,53 a 平均基尼系数为 0.391,年径流量和基尼系数均呈显著下降趋势(图 2c)。洛伦兹不对称系数大于 1 的年份占全部年份的 42%。年径流量与基尼系数和洛伦兹不对称系数的相关系数分别为 0.75 和 -0.17,说明河东站径流量与基尼系数具有相关性,与洛伦兹不对称系数之间不存在相关性。由表 1 可知,河东站年径流量和基尼系数均呈现显著下降趋势,分别达到 $\alpha=0.01$ 和 $\alpha=0.001$ 的显著性水平。洛伦兹不对称系数呈现上升趋势,趋势不显著。河东站年径流量减少,径流量的年内分布越来越均匀,且径流量较大的月份所占的比例在增加。

圈河站 1959—2011 年平均径流量为 $6.89 \times 10^9 \text{ m}^3$,年径流量呈现下降趋势(图 2d),但不显著。53 a 平均基尼系数为 0.389,基尼系数呈现显著的下降趋势,径流趋势线的波动性越来越平稳。洛伦兹不对称系数大于 1 的年份占全部年份的 45%。年径流量与基尼系数和洛伦兹不对称系数的相关系数分别为 0.70 和 -0.07,同样地,说明圈河站径流量与基尼系数具有相关性,与洛伦兹不对称系数不相关。由表 1 可知,圈河站的年径流量呈现下降趋势,趋势不显著,基尼系数呈现显著的下降趋势,洛伦兹不对称系数呈现显著的上升趋势。圈河站年径流量减少,径流年内分布越来越均匀,且径流量较大的月份所占的比例在增加。河东站和圈河站年径流量、基尼系数和洛伦兹不均匀系数的变化趋势十分相似,同时两站的变化情况说明图们江干流下游发生洪涝灾害引发水土流失的可能性增加。

由图 2 可知,4 个水文站的洛伦兹不对称系数波

动较大,如 1961,1965 和 1979 年各站洛伦兹不对称系数均波动较大且大于 1,说明这 3 个年份是由径流量大的月份引起的径流量分布不均匀,且同期也是历史上水旱灾害发生的年份^[7]。南坪与开山屯两站的基尼系数较河东和圈河两站的基尼系数小,洛伦兹曲线接近绝对均匀线。同时,河东与圈河两站点洛伦兹不对称系数大于 1 的年份占整个研究时间序列的比例均低于 50%,说明造成年内径流不均匀的主要原因是径流量少的月份所占年径流量的比例增大。由此可见,基尼系数和洛伦兹不对称系数可以表征该流域的径流丰枯变化特征。

洛伦兹不对称系数的波动表明旱涝灾害的发生源于夏季的月径流,主要集中在 6—9 月,同时 6—9 月是该地区的汛期,因此,降雨量是影响径流变化的主导因素。汛期径流量的增大,会加大水土流失。非汛期月份径流量的减少,会导致干旱产生。与此同时,将不利与农业的发展与生态环境的恢复。

3.2.2 基尼系数和洛伦兹不对称系数的年际间变化特征 图 3 为图们江干流各水文站 1959—2011 年基尼系数和洛伦兹不对称系数的年代间变化趋势,南坪站 2000s 基尼系数最大,开山屯站基尼系数变化不大,在 0.30 左右变动,河东和圈河两站点基尼系数最大值均出现在 20 世纪 80 年代。此时,南坪和开山屯站洛伦兹不对称系数最大,超过 1。在这 10 a 之中,径流量大的月份占的比例较大,主要集中于 6—9 月,其径流量占全年径流比例达到 70%左右。据记载,1981 和 1983 年在 6—7 月均出现过洪涝灾害^[7]。河东和圈河站洛伦兹不对称系数最大值均出现在 2000s。

3.3 成因分析

文革以后,大力发展农业,毁林开荒、乱砍乱伐等,造成森林覆盖率速减,导致水土流失严重,另外,降水时空分布不均匀,冲刷坡耕地等,极易发生水土流失。80 年代中期,一部分水利工程完工,并投入使用,对缓解水土流失起到了一定的作用^[7]。

图们江干流的径流补给主要源于天然降水,与人类活动对比分析,降水是影响图们江干流径流均匀度变化的主要因素。图们江上游段,森林茂密,河槽窄深,水流湍急,水量丰沛,丰枯变化小,沿江村屯疏落;中游段河道蜿蜒于群山之间,江面平时水面宽 60~240 m,大洪水时可达 200~1 000 m 宽;下游有嘎呀河与琿春河径流汇入图们江干流,同时,嘎呀河是图们江最大支流,其汛期暴雨集中,水量大;琿春河是图们江下游的主要支流,根据洪水调查资料统计 1890—1985 年有 5 a 洪峰流量超过 $3 000 \text{ m}^3/\text{s}$ 。据水旱灾害统计,20 世纪 70 年代以后^[7],水旱灾害插花出现,以上因素均是各站点径流均匀度变化产生的可能原因。

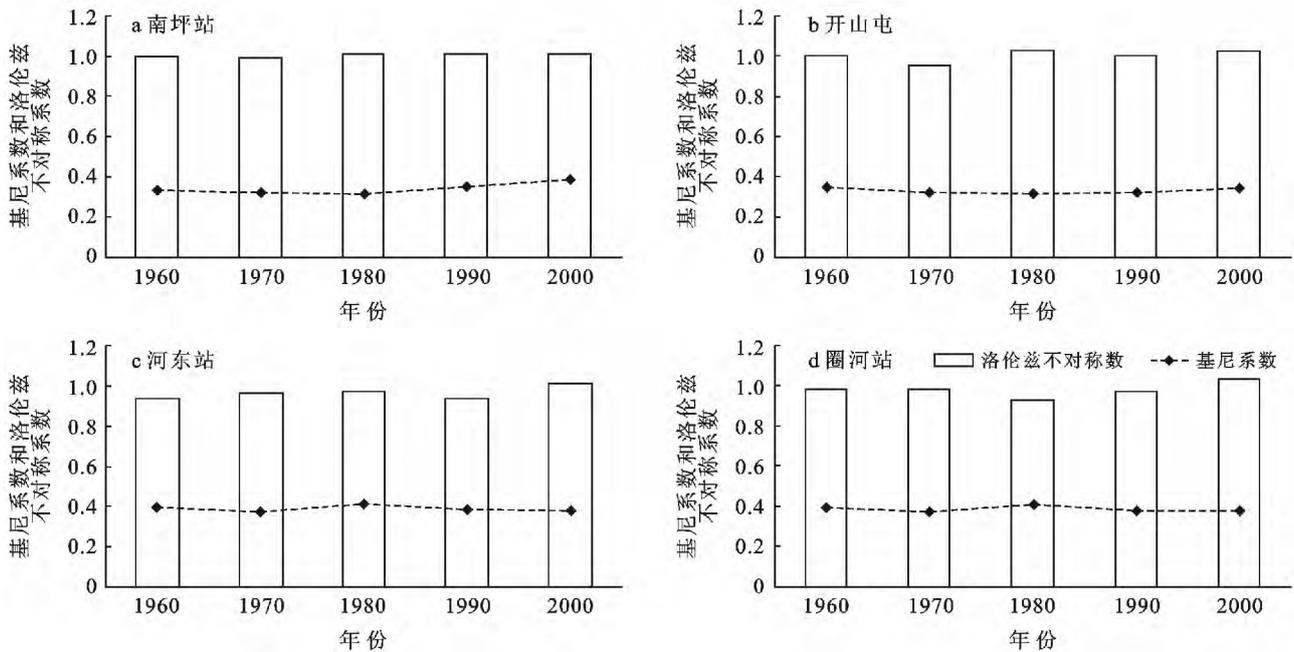


图 3 图们江干流区间各水文站基尼系数和洛伦兹不对称系数的年代际间变化特征

4 结论

(1) 图们江干流区间各水文站年径流随时间分布的均匀度相差不大,四站点年径流均呈下降趋势。月径流年内分配基尼系数表明,南坪与开山屯站的均匀度下降,河东与圈河站的均匀度上升,整个流域径流量大的月份占年径流量的比例呈增大趋势,即表明该地区易发生水土流失和干旱。

(2) 由基尼系数和洛伦兹不对称系数的年际间变化特征分析得知,南坪和开山屯站洛伦兹不对称系数在 20 世纪 80 年代达到最大,1981 和 1983 年出现洪涝灾害,说明降水量是影响该区域径流变化的主导因素。通过原因分析,发现人类的河道防护、水库修建、植物保护等措施在径流变化过程中起到了积极作用。

(3) 采用基尼系数与洛伦兹不对称系数作为新指标,可以反映了径流年内分配的不均匀性,同时分析产生这种不均匀性的原因,与客观事实相符。表明洛伦兹曲线在一定程度上能够揭示区域旱涝发生的原因,将为研究区域径流及水资源调配、管理等提供技术支持和科学依据。

[参 考 文 献]

[1] Tegart W J, Sheldon G W, Griffiths D C. Climate Change: The IPCC Scientific Assessment[R]. Report Prepared by Working Group II. Australian Government

Publishing Service, Canberra, Australia,1990.

- [2] 金明姬,赵春子,徐万玲,等. 布尔哈通河径流分布均匀度研究[J]. 安徽农业科学,2013(4):1709-1711.
- [3] 潘扎荣,阮晓红,朱愿富,等. 近 50 a 来淮河干流径流演变规律分析[J]. 水土保持学报,2013,27(1):51-59.
- [4] 张丹蓉,郭勉辰,夏冬梅,等. 海流兔河径流量年内分配及变化趋势分析[J]. 水文,2013,33(3):85-90.
- [5] 延边朝鲜族自治州水利局. 吉林省延边朝鲜族自治州水资源综合规划水资源调查评价[Z]. 2012.
- [6] 延边朝鲜族自治州统计局. 延边统计年鉴[M]. 香港:中国国际图书出版社,2013.
- [7] 高振东. 延边朝鲜族自治州水利志[M]. 延边州朝鲜族自治州水利局,2001.
- [8] Lorenz M O. Methods for measuring the concentration of wealth[J]. American Statistics Association, 1905,70(9):209-219.
- [9] Christian Damgaard, Jacob Weiner. Describing inequality in plant size or fecundity[J]. Ecology, 2002,81(4):1139-1142.
- [10] Mann H B. Nonparametric Tests Against Trend[J]. Econometrica, 1945,3(3):145-259.
- [11] 陈军伟,孔祥斌,张凤荣,等. 基于空间洛伦茨曲线的北京山区土地利用结构变化[J]. 中国农业大学学报,2006,11(4):71-74.
- [12] 史婉丽,杨勤科,李小芳,等. 基于洛伦茨曲线的陕北黄土高原降雨分布不均匀性分析[J]. 干旱地区农业研究,2012,30(4):172-177.
- [13] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测术技[M]. 北京:气象出版社,2007.