

1959~ 2000 年流沙河流域降水与径流变化研究

郭宗锋^{1,2}, 马友鑫¹, 李红梅¹, 刘文俊¹

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223; 2. 宜宾学院生物工程系, 四川 宜宾 644000)

摘 要: 利用已有的水文资料, 分析了流沙河流域 42 年来降水与径流的变化, 以及他们之间的相互关系。结果表明: 从 1959~ 2000 年, 降水量没有发生明显的变化, 尤其是在干季; 径流量从 60 年代开始减小, 但在 90 年代后期又有所增加; 径流系数有增大的趋势; 降水量和径流量的年际变化幅度都有减小的趋势, 径流的这种趋势更明显。各种迹象表明, 除降水量的增减和季节变化外, 径流量还受到其他因素(如人类活动)的影响, 而且这种影响越来越大。

关键词: 水文循环; 气候变化; 径流系数; 西双版纳

中图分类号: P332.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)04-0150-04

Research on Variation of Precipitation and Runoff in the Liushahe Watershed in 1959~ 2000

GUO Zong-feng^{1,2}, MA You-xin¹, LI Hong-mei¹, LIU Wen-jun¹

(1. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China;

2. Bioengineering Department of Yibin College, Yibin, Sichuan 644000, China)

Abstract: Based on survey data during 1959~ 2000, the interannual variations and their trends of the Liushahe watershed mean precipitation and runoff and the relationship between the two were analyzed. The results show that there is no marked trend for precipitation from 1959 to 2000, especially in dry season. While runoff diminished from 1960s and increased from middle 1990s. And runoff coefficient has grown markedly since 1959. The amplitude of interannual variations of precipitation and runoff is on the decrease, especially runoff. Precipitation impacts runoff greatly, but the effect has lessened. So Liushahe watershed runoff has been impacted by other factors, which has been greater with time.

Key words: water cycle; climate change; runoff coefficient; Xishuangbanna

水文循环的变化与人类的生产生活息息相关。随着人类活动强度的增大和全球环境的变化, 水文循环也发生着很大的变化: 降水的时空分配改变; 径流对降水的响应时间发生变化, 汛期径流量集中洪峰过大而造成涝灾, 非汛期径流量减少以致断流而形成旱灾^[1,2]。水文循环的这种变化, 既与气候变化有关, 也与土地利用、土地覆被的变化有关^[3~5], 而这两种变化都与人类活动有着密切的关系^[6,7]。因而, 研究人类活动对水文循环的影响, 已成为全球变化研究中的一个重要分支。

森林植被的变化使大气边界层的厚度发生改变, 进而改变当地的温度和降水^[8]; 土地利用/土地覆被的变化, 尤其是修建水库、塘坝等, 将会影响年径流量, 改变径流的时空分配, 使最大和最小径流量发生变化^[1]。近半个世纪以来包括流沙河流域在内的西双版纳地区, 土地利用/土地覆被发生了很大的变化: 原始林面积下降, 次生林、经济林增多^[9,10], 并兴建了大量水利设施, 因此, 该地的降水和径流可能会因为下垫面的变化而受到影响。张克映等^[11~13]在西双版纳地区的研究表明, 森林面积的减少会使降水量减少, 但对长时间径流变化的研究还很少。因此, 有必要从较大的时间尺度上对降水、径流及其关系进行研究, 从而为今后合理开发利

用有限的水资源、防治水土流失、进行生态修复提供参考; 同时也为下一步研究气候变化和土地利用对水文循环的影响打下基础。

1 研究区域

流沙河发源于西双版纳傣族自治州勐海县布朗山区, 主要支流有南木央河、南木养河、南开河、南混河等, 干流全长 129 km, 总径流面积 2 163 km²。流域内有 4 个主要坝子: 中、上游有勐遮、勐混和勐海坝子, 下游经景洪坝子汇入澜沧江。

流沙河流域位于勐海县和景洪市境内, 本研究只选取流沙河勐海水文站控制的流域上游。约 100°5' ~ 100°35' E, 21°40' ~ 22°6' N。该区域全部位于勐海县境内, 包括勐遮、勐混坝子及勐海坝子的一部分。海拔 1 200~ 2 000 m, 面积 978 km²。该地区一年分干热季(3~ 4 月)、雨季(5~ 10 月)和雾凉季(11~ 2 月)(本研究将干热季和雾凉季统称为干季); 霜雪很少, 是我国有名的静风多雾区, 雨季受西南季风控制, 雨水较多, 其中多为暴雨; 干热季和雾凉季降水较少, 降水强度不大。土壤类型的分布具有明显的地域特征: 800~ 1 500 m 发育着赤红壤(砖红壤性红壤), 1 500~ 2 000 m 则是红壤。赤红壤土层深厚, 疏松, 厚度一般在 1 m 以上, 表土层有较好

* 收稿日期: 2005-08-20

作者简介: 郭宗锋(1978-), 男, 山东济宁人, 助教, 主要从事土地利用变化及其环境影响研究; 通讯作者: 马友鑫。

的团粒结构;总孔隙度很高,渗透性好,持水能力强,具有良好的水分状况。

2 资料来源与处理方法

本研究所用的降水与径流资料均来自云南省水文水资源局西双版纳分局(西双版纳傣族自治州水文站),年限为 1959~ 2000 年共 42 年。其中降水采用位于流沙河流域的勐海、勐遮、勐混和西定四个站的月平均降水量,缺测部分利用回归分析模拟得到;径流则采用勐海水文站观测的流沙河月平均径流量。根据泰森多边形法分别确定四个站的权重,进而利用加权平均法算出流沙河流域的月平均降水量;用月径流总量与流域面积的比值作为径流深。计算时以 5~ 10 月作为雨季,11~ 4 月作为干季。

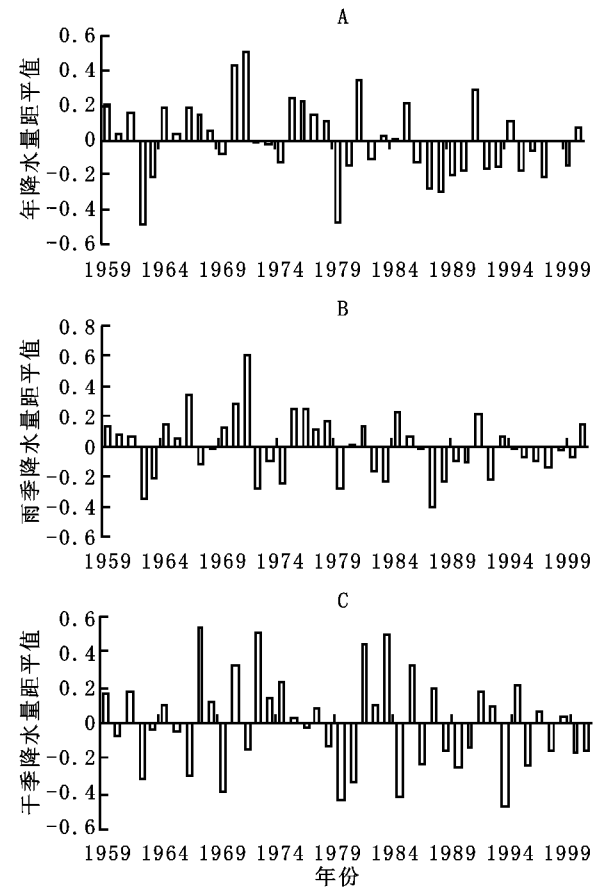
Mann- Kendall 法(以下简称 M- K 法)可以较有效地检测序列的变化趋势,并能大体确定突变发生的位置。其计算公式为^[14]:

设序列为 x_1, x_2, \dots, x_N , 其中 m_i 表示第 i 个样本 x_i 大于 $x_j (1 \leq j \leq i)$ 的累积数。

$$u(d_k) = (d_k - E[d_k]) / \sqrt{\text{var}[d_k]} \tag{1}$$

$$d_k = \sum_{i=1}^k m_i, (2 \leq k \leq N) \tag{2}$$

$$E[d_k] = k(k-1)/4 \tag{3}$$



$\text{var}[d_k] = k(k-1)(2k+5)/72 \tag{4}$

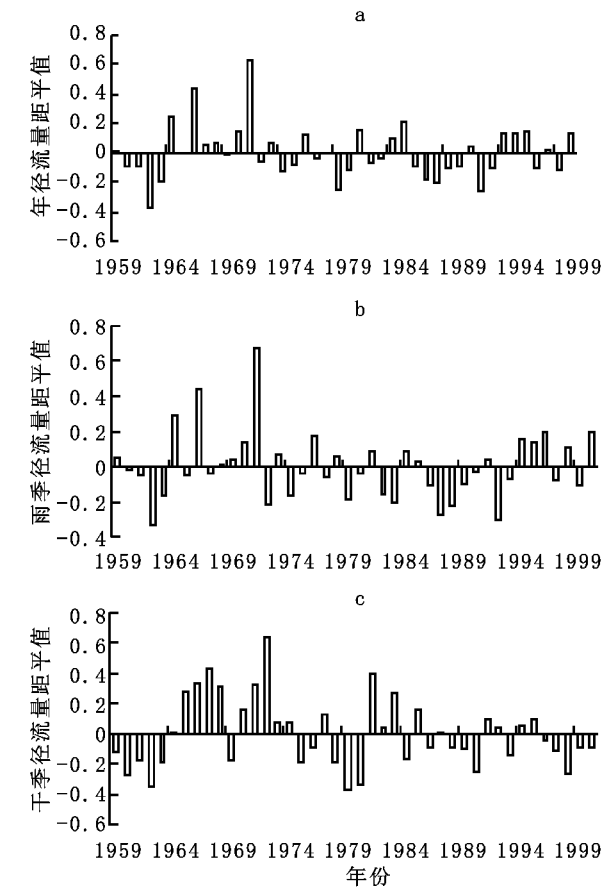
所有 $u(d_k) (1 \leq k \leq N)$ 组成一条曲线 c_1 , 通过信度检验可以得出其是否有明显的变化趋势;将序列反转后计算得到另一条曲线 c_2 , 若 c_1 和 c_2 的交点在置信区间内, 则该点即是突变点。

3 结果与分析

3.1 降水量

从年降水量来看(图 1A), 1959~ 1978 年降水量较多, 而 1979 年以后则偏少。由于雨季降水量在年降水量中占的比例很大(平均 86%), 因而雨季降水量的变化趋势与年降水量的趋势基本一致(图 1B), 相关系数达到 0.89。干季降水量(图 1C)变化并没有与年降水量或雨季降水量保持一致, 有其自身的变化趋势。连续处于少雨期或丰雨期的年份最多不超过 4 年;不同年份之间的降水量相差很大, 如与多年平均值相比, 1993 年降水量少 75%, 而 1994 年则多了 60%(因为干季平均降水量远小于雨季, 各年差别的绝对值并不大);从 1959~ 2000 年, 干季降水量也没有出现明显的减少或增加的趋势。

经计算, 年降水量、雨季降水量和干季降水量都未能通过 $\alpha = 0.05$ 的 M- K 检验, 即没有较强的变化趋势。



A 为年降水量, B 为雨季降水量, C 为干季降水量
a 为年径流深, b 为雨季径流深, c 为干季径流深

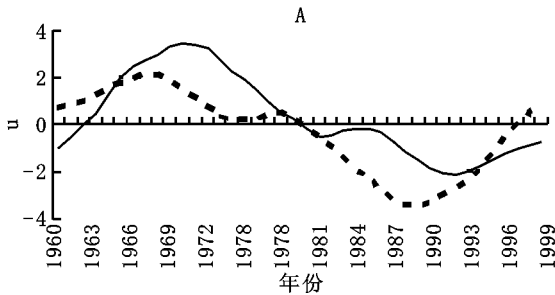
图 1 极差标准化的降水量和径流深距平随时间的变化

3.2 径流深

由图 1a 可以看出, 1959~ 1963 年的年径流深较小, 年均径流深为 427.9 mm; 1964~ 1971 年径流深明显较大, 年均 704.6 mm; 尽管处于丰雨期, 1972~ 1978 年的年均径流深只

有 551.5 mm, 比 1964~ 1971 年少 21.7%; 1979~ 1993 年的年均径流深为 514.6 mm, 从 1971~ 1993 年, 径流深有减少的趋势; 1994 年开始, 年径流深有所增加, 1994~ 1996 年平均值 663.2 mm, 1997~ 2000 年均径流深又减至 514.7 mm。

雨季径流深(图 1b)与年径流深的相关系数为 0.94,说明二者的变化趋势基本保持一致。但雨季径流深平均占年径流深的 75%,而雨季降水量占年降水量的 86%,说明有部分雨季降水在干季作为径流流出,径流对降水的响应具有滞后性。



— c_1, \dots, c_2, A ——年径流量, B ——干季径流量

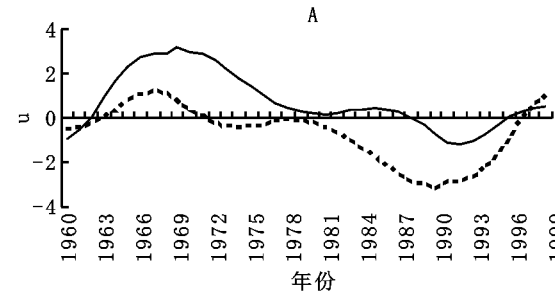
图 2 流沙河流域径流深的 M-K 检验曲线

与降水量不同,年径流深、雨季径流深和干季径流深都通过了 $\alpha=0.05$ 的 M-K 检验,即具有较强的变化趋势。年径流深的第一个突变点出现在 1964 年(图 2A),径流量由一个较小的时期到一个较多的时期,可能跟年降水量开始增多有关(图 1A);第二个突变点在 1979 年,径流量变得较小;第三个突变点出现在 1995 年,径流量又开始增大,降水量在减少。雨季径流量的变化趋势同年径流量的变化相似。50 年代和 60 年代,年径流量有较强的增大趋势,从 70 年代开始又有较强的减小趋势。干季径流量第一个突变点在 1963 年(图 2B),径流量突然增多;第二个突变点在 1996 年,径流量减小,这与年径流量和雨季径流量的变化趋势相反。同年径流量一样,干季径流量在 70 年代以前增大趋势很明显,但以后减小的趋势却不明显。1995 年以前,干季径流深同年径流深和雨季径流深变化趋势基本一致,但从 1995 年开始却有相反的变化:当年径流量和雨季径流量增大的时候,干季径流量减小。

3.3 径流系数

由图 3 可以看出,1959~1963 年,年径流系数较小,并呈减小的趋势;而在处于少雨期的 1985~1987 年、1993~1998 年,年径流系数则较大。1964~1971 年间,除降水量较多的 1964 年、1966 年、1971 年三年径流系数较大外,其余年份变化不是很明显,值得注意的是,1970 年的降水量也偏多,但径流系数却没有相应增大,说明该年径流量受到严重干扰。

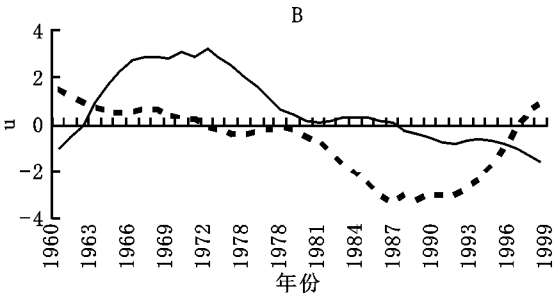
在 1963 年以前,雨季径流系数都比较小,随着降水量的增加,1964 年后的径流系数也开始变得比较大,1971 年达到 0.49,此后直到 1993 年,径流系数一直较小,平均值为 0.30,此期间既有少雨期也有丰雨期,即径流系数的变化与降水量的关系不是很大;1994 年后,径流系数变得很大,平均值为 0.44,大过历史任何时期。



— c_1, c_2, A ——年径流系数, B ——干季径流系数

图 4 径流系数的 M-K 检验曲线

1963 年以前,干季径流深(图 1c)较小,平均年径流深为 95.8 mm;1964~1984 年的丰雨期,径流深也较大,但其变化却没有同年降水量一致,而是从 1975 年就开始减少,到 1981 年又有所增加;1985 年后的少雨期,干季径流深也较小,但比 1959~1963 年的少雨期多 31.6 mm。



干季径流系数的变化与年径流系数和雨季径流系数的变化有很大的不同。径流系数平均高达 0.77,有 6 年超过 1,最高为 2.19,说明部分干季径流是由雨季的降水形成的;从 1959~2000 年的 42 年间,除某些年份会突然增大外,其余年份的径流系数变化比较小,并且突然增大的年份越来越少。

总体来看,干季径流系数>年径流系数>雨季径流系数,这种关系一般在降水量较多的年份最为明显,而在降水量较少的年份不明显或被打破,尤其在 90 年代表现最突出,但在 60 年代初却没有出现这种情形。

雨季径流系数变化趋势不太明显,未能通过 $\alpha=0.05$ 的 M-K 检验。年径流系数的第一个突变点在 1961 年(图 4A),径流系数突然增大;第二个突变点在 1998 年,径流系数也是突然增大。50、60 年代干季径流系数有明显的增大趋势,而 70 年代后的减小趋势却不明显。干季径流系数的第一个突变点在 1971 年(图 4B),径流系数变小;第二个突变点在 1975 年,径流系数重新变得较大。同年径流系数不同,干季径流系数的增大和减小趋势都很明显。

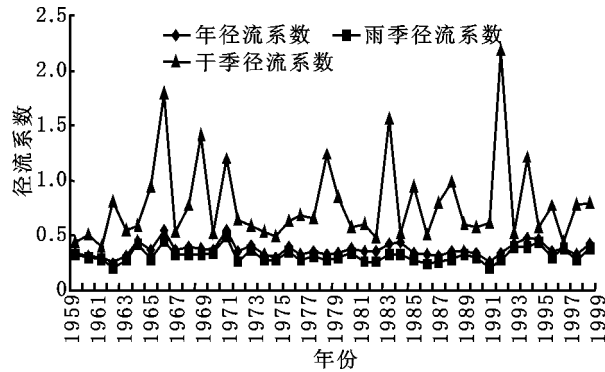
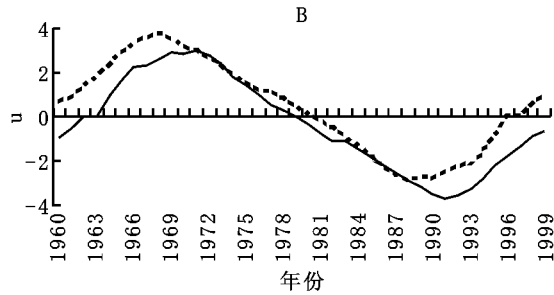


图 3 径流系数随时间的变化



3.4 降水量与径流深的年际变化幅度

如图 4 和表 1 所示, 1959~ 2000 年, 降水量和径流深的绝对偏差五年滑动平均都有减小的趋势, 其中在雨季的这种趋势更为明显, 同时降水量和径流深的趋势线系数相差不大; 而干季时降水量变化不明显, 趋势线系数只有- 0. 01, 径流深却达到- 0. 48; 年径流深的变化也比年降水量的强烈。以上现象表明降水量与径流深年际变化幅度都有减小的趋势, 雨季

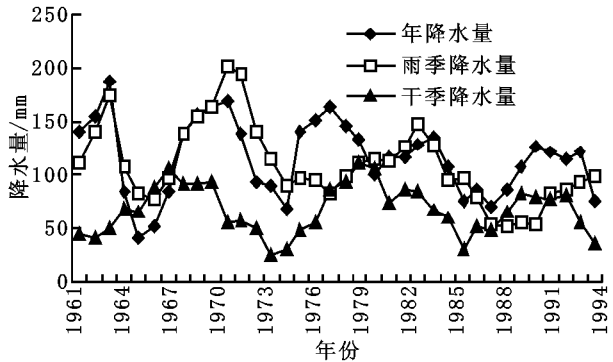


图 5 降水量和径流深绝对偏差 5 年滑动平均随时间的变化

3.5 降水- 径流响应时间

对降水量和径流量最大值出现的月份进行统计, 结果表明: 65% 的年份降水量最大值和径流量最大值出现在同一月份, 径流量最大值滞后一个月出现的年份只占 18%, 说明径流对降水的响应时间不超过一个月。因为本研究利用的是以月为尺度的资料, 所以无法确定径流对降水响应的具体时间。值得注意的是, 1972 和 1977 两年的径流量最大值出现时间滞后了 3 个月, 可能是该年径流受到的干扰较大。

4 结论与讨论

4.1 结论

- a. 流沙河流域的年降水量存在不明显的周期变化, 但因为资料年限太短, 还难以得出具体的变化周期; 从上世纪 50 年代末至本世纪初, 年降水量并没有减少的趋势; 干季降水量与雨季降水量变化不一致, 相反, 干季降水还有削弱雨季降水偏多或偏少的倾向, 但这种倾向不太明显。
- b. 从 60 年代中期至 90 年代中期, 流沙河年径流量呈现减少的趋势, 但在 90 年代后期又有所增加。而且有迹象表明, 径流量受到严重的干扰。
- c. 年径流系数雨季径流系数都有增大的趋势。但干季变化不明显。
- d. 降水量和径流深的年际变化幅度都有减小的趋势, 而径流深的变化比降水量的变化强烈, 也即径流受到的干扰要比降水大。

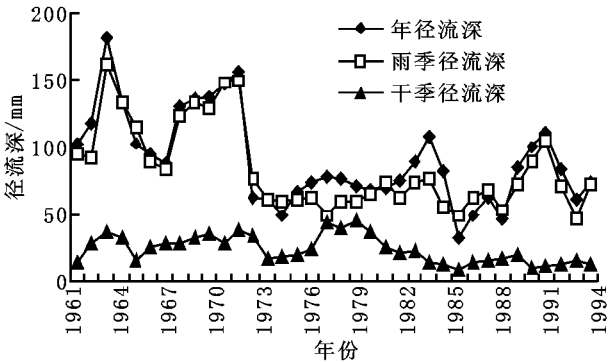
4.2 讨论

流沙河流经勐遮、勐混和勐海坝子, 坝区所占的面积相当大, 人类活动对流域的干扰时间长程度大, 其最主要表现之一就是土地利用\ 土地覆被的变化。这种变化一方面会对径流产生直接的影响, 另一方面也会通过影响气候而影响径流, 一般认为: 森林的存在会减少雨季径流量和年径流量, 增大降水径流的响应时间, 森林砍伐有相反的结果^[19]; 修建水利设施会直接改变径流的时空分配。在本研究中, 降水量的变化不明显, 但径流系数有明显的增大的或减小的趋势, 即排除降水量变化的影响后, 径流量有明显的增大或减小的趋势; 另外, 径流量的年际变化幅度也有减小的趋势, 这些变化可能跟流域土地覆被的变化有关系。50 年代中期以后, 流沙河流域人口大幅度增加(如黎明农场 1955 年一次就接收 1 700 多复员

比干季明显; 但在全年及干季, 径流深的变化要大于降水量, 说明排除降水量的变化后, 径流量的年际变化幅度减小。

表 1 降水量和径流深绝对偏差 5 年滑动平均趋势线系数

	全年	雨季	干季
降水量	- 0. 70	- 1. 80	- 0. 01
径流深	- 1. 76	- 1. 76	- 0. 48



军人), 大量森林遭到砍伐, 原始林地被开垦为耕地和经济林地。在 1963 年以前, 流沙河径流量较小, 从 1964 年开始, 径流量增大, 可能与这个时期的森林破坏有关。进入 80 年代, 随着人口压力的增大和改革开放的深入, 特别是土地政策的调整, 这个时期人类活动较剧烈, 该流域土地利用\ 土地覆被变化相当大, 就不可避免地对径流量产生影响, 尤其在 90 年代, 尽管降水量偏少, 径流量却有所增大。

历史上当地人民就很注重修建和维护水利设施, 建国后又得到大力提倡和发展, 截止 1993 年, 流域内仅中型水库就有 3 座。大量水利设施的存在, 会将部分雨季降水蓄存起来, 而在干季时利用, 表现为干季径流, 这可能是干季径流系数大于雨季径流系数的原因之一; 同样也可以将丰雨期的降水蓄存起来留作少雨期利用, 表现为少雨期径流。这样做的后果会减少雨季(丰雨期) 的径流量而增大干季(少雨期) 的径流量; 但又会增大水面蒸发的面积和时间, 同时由于工农业生产大量耗水, 尤其在降水量较小的干季, 如果雨季蓄存的水量不够, 势必截留干季径流, 从而会减少径流量, 特别是干季径流量; 另外, 大量引水工程, 尤其是跨流域的引水工程, 还会改变径流量的空间分配, 这些改变会在径流系数和径流量的年际变化幅度上有所体现。70 年代前, 年径流系数和干季径流系数都有明显的增大趋势, 这个时期工农业还不是很发达, 径流系数的变化可能主要受植被破坏和水利设施调节的影响; 而从 70 年代开始, 年径流系数和干季径流系数都有减小的趋势, 一方面可能与植被保护有关, 另一方面也可能跟工农业耗水增多有关。径流量的年际变化幅度减小, 流量偏大和偏小的年份减少, 说明年径流量受到有意识的调节。年径流系数的变化趋势没有干季径流系数的变化明显, 说明干季径流受到的调节较大。

高海风^[15] 分析了海南岛三大河流对森林砍伐的水文效应后得出结论: 在降水量正常的情况下, 严重的森林砍伐使当年的河川径流量, 径流系数增大。在本研究中, 1995 年前的径流量、径流系数变化比较明显, 而相应的降水量变化却不明显, 即降水量不是引起这些变化的决定性因子, 土地利用\ 土地覆被变化的影响较大。因此, 在今后的相关研究中, 需要重点探讨这些年份前后的土地利用\ 土地覆被变化, 分析其对径流变化的影响。

它各县市土壤侵蚀经济损失均呈下降趋势,而且下降趋势十分明显。其中新泰经济损失减少的比例最大,占 2000 年该县损失的 63.44%;另外,沂南、沂水、沂源、蒙阴和莒县经济损失减少也较大,都在 4 000 万元以上。

根据 1995 年和 2000 年研究区分县市土壤侵蚀经济损失,计算出各县市的 1995~2000 年经济损失的变化量,然后用变化量除以 1995 年的土壤侵蚀经济损失计算出分县市土壤侵蚀经济损失价值动态变化(表 2),最后将上述 2 个年份的土壤侵蚀经济损失变化率用图形表示出来(图 2)。

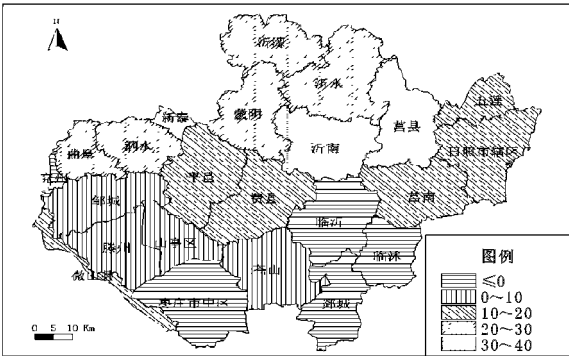


图 2 研究区各县区土壤侵蚀经济损失价值变化率(%)

在整个研究时段上,研究区土壤侵蚀经济损失价值的变化率为 19.22%(减少量)。研究区各县区土壤侵蚀经济损失价值的变化不尽相同。有 18 个县区土壤侵蚀经济损失价值减小,1 个县区没有变化,4 个县区增大;变化率小于等于 0 的有 5 个县区,介于 0~10% 的有 4 个,介于 10%~20% 的有 6 个,介于 20~30% 的有 5 个,超过 30% 的有 3 个。在研究区 23 个县区中,变化率大于零的县区有 18 个,小于等于零的有 5 个。

以上的研究表明,研究区大部分县区的土壤侵蚀经济损失价值的总体变化都有所降低,只有一小部分县区有所增大。这说明研究区近几年来,该流域水土保持工作确实取得了显著的成效,这种成效在经济中的表现越来越突出。

5 结 语

山东沂沭泗流域是一个由多种功能区复合而形成的环境综合体,同时也是土壤侵蚀严重的区域,尽管到 2000 年土壤侵蚀状况得到了一定的改善,但土壤侵蚀仍然比较严重,这就需要将生态环境的保护、恢复、重建及与水土流失治理相结合,采取措施停止人为的负面干扰和破坏,实现对自然环境的合理控制和有效利用,使其向可持续发展的方向转化,也就是采取生态恢复与水土保持工程相结合,以实现治理水土流失,改善生态环境的目的。

参考文献:

[1] 朱永恒,濮励杰. 流域侵蚀过程研究[J]. 水土保持研究,2005,12(2): 225- 231.

[2] 赵善伦,尹民,孙希华. 山东省水土流失经济损失与生态价值损失评估[J]. 经济地理,2002,22(5): 616- 619.

[3] 任勇,毕华兴,等. 水土流失经济损失估算及环境经济学思考[J]. 中国水土保持,1997,(8): 48- 58.

[4] 邓培雁,屠玉麟,陈桂珠. 贵州省水土流失中土壤侵蚀经济损失估值[J]. 农村生态环境,2003,19(2): 1- 5.

[5] 水利部水土保持司. 土壤侵蚀分类分级标准[M]. 北京:中国水利水电出版社,1997. 14—15.

[6] 中国农村统计年鉴[Z]. 北京:中国农业出版社,1995. 589—603.

[7] 山东水利厅水土保持处. 山东省水土流失定量遥感监测数据库信息分县统计表[Z]. 1995,2000.

[8] 王有邦. 山东地理[M]. 济南:山东地图出版社,2000: 100—150.

(上接第 153 页)

参考文献:

[1] Maidment D R. 水文学手册[M]. 张建云,李纪生等译. 北京:科学出版社,1992.

[2] Charles J V. Global change, the water cycle, and our search for Mauna Loa [J]. Hydrological Process,2002, 16: 135- 139.

[3] Menzel L, Burger G. Climate change scenarios and runoff response in the Mulde catchment (Southern Elbe, Germany) [J]. Journal of Hydrology, 2002,267: 53- 64.

[4] 李晓兵. 国际土地利用- 土地覆盖变化的环境影响研究[J]. 地球科学进展,1999, 14(4): 395- 400.

[5] 邓慧平. 气候与土地利用变化对水文水资源的影响研究[J]. 地球科学进展,2001, 16(3): 436- 441.

[6] Vorosmarty C J, Green P, Salisbury J, Lammers R. Global water resources: Vulnerability from climate change and population growth [J]. Science, 2000, 289: 284- 288.

[7] Gornitz V, Rosensweig C, Hillel D. Effects of anthropogenic intervention in the land hydrologic cycle on global sea level rise [J]. Global and Planetary Change, 1997, 14: 147- 161.

[8] Pitman A, Pielke Sr R, Avissar R, et al. The role of the land surface in weather and climate: does the land surface matter? [J]. IGBP Newsletter, 1999, 39: 4- 11.

[9] 李芝喜. 西双版纳热带林 30 年的动态变化监测[J]. 林业资源管理,1999,(2): 44- 46.

[10] 张佩芳,赫维人,何祥,等. 云南西双版纳森林空间变化研究[J]. 地理学报,1999, 54(增刊): 139- 144.

[11] 张克映,张一平. 西双版纳森林砍伐对地方气候的影响[A]. 中国农学会农业气象研究会,中国林学会. 林业气象文集[C]. 北京:气象出版社,1984. 14- 23.

[12] 张一平,张克映,马友鑫,等. 西双版纳热带地区不同植被覆盖地域径流特征[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1997, 3(4): 25- 30.

[13] 刘玉洪,马友鑫,刘文杰. 西双版纳人工群落林地径流量的初步研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1999, 5(2): 30- 34.

[14] 符淙斌,王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学,1992(4): 482- 492.

[15] 高海风. 海南岛三大河流对森林砍伐的水文效应分析[J]. 热带地理,1986, 6(3): 264- 271.