

近 40 a 来新疆地区冰雪径流 对气候变暖的响应*

叶佰生 永建 康尔泗 李 纲 韩添 丁

(中国科学院兰州冰川冻土研究所, 兰州 730000)

摘要 分析了新疆地区 33 条主要河流出山口水文站 50~ 80 年代的径流资料和 84 个气象站气温和降水资料, 以 1980 年为界, 通过对比前后两时段的水文气象特征的变化结果, 表明尽管 80 年代以来, 春季气温升高并不十分明显, 但大多数河流春季径流却明显增加, 平均增加约 10%; 特别是山区融雪最盛的 5 月份, 径流增加最为显著, 平均增加 20%. 与此相反, 6 月份径流普遍减少, 平均减少约 5%. 从全年及整个夏季情况看, 径流变化与流域冰川覆盖率没有直接的响应关系, 但在冰川消融最强烈的 8 月份, 径流的变化与冰川覆盖率存在有明显的正相关关系, 反映出气候变暖引起冰川径流增加的趋势.

关键词 气候变化 冰雪径流 响应

气候变化对径流过程的影响是全球变化研究的重要部分, 在径流对气候变化的响应中冰雪径流对气候变化最为敏感^[1]. 西北地区是我国冰雪径流补给较丰富的地区, 在冰川及其径流对气候变化响应方面, 进行过一定的研究, 特别对多年来不同区域年径流变化与气温、降水变化和冰川的关系进行过较为系统的分析^[2], 但对径流的季节变化研究较少. 由于冰雪径流的形成集中在年内一定的时段内, 因此气候变化的影响可能在年径流变化过程中不能很清楚地表现出来. 本文通过对年、季、月不同时段径流、气温和降水变化的对比, 分析近 40 a 来新疆地区冰雪径流对气候变暖的某些响应特征.

1 资料及分析方法

本文分析应用的主要资料为新疆维吾尔自治区内的 84 个气象站月气温和降水资料, 以及 9 个水文站和雨量点的月降水量资料, 径流主要选取观测时间较长的 33 条主要河流出山口站月径流资料. 台站分布见图 1. 时间从 1956~ 1989 年, 有个别台站晚于 1956 年.

在较大范围内分析径流对气候变暖响应的方法, 一般通过分析各特征值变化趋势的方法进行^[3], 或通过对比不同时段各特征值的变化来研究径流对气候变暖的响应^[4]. 本文采用的是后一种方法.

1998-06-16 收稿, 1998-10-28 收修稿

* “九五”国家重点科技攻关计划资助项目(编号:96-912-01-02)和中国科学院重点资助项目(编号:KZ952-J1-216)

根据近 40 a 来的气象资料, 新疆在 1973 年前后为气候变化的突变点^[5], 且到 80 年代气候变暖较为显著. 为充分显示气候变暖对径流的影响, 本研究将时段划分为升温较为明显的 1980~1989 年与 1956~1979 年两个时段, 对比分析两时段气温、降水和径流的变化情况. 同时考虑到山区与平原区气候变化上的差异性, 将研究区分为山区和平原区(以海拔 1 500 m 为界)分别进行分析. 对于高山区(海拔 3 000 m 以上), 由于台站较少, 资料短缺, 可能缺乏一定的代表性, 本文不进行详细分析.

2 气温、降水和径流的变化

2.1 气温、降水和径流的年平均值变化

80 年代与 50~70 年代相比(表 1), 全区年气温(T_a) 平均升高 0.38℃、年降水(P_a) 增加 8.4%, 而径流(R_a) 减少 0.5%. 从不同海拔高度对比看, 在 1 500 m 以下, 各台站年降水量和年平均气温的变化差异较大, 而在中高山带(1 500 m 以上)降水和气温变化的差别相对较小; 就平均值而言, 降水量和气温的变化高山区较平原区要小, 其中气温升高和降水的增加随高度升高而明显减小. 而径流的变化则不同, 在降水增加的情况下, 山区河流径流增大, 而平原区河流径流减少, 其原因除山区升温幅度较小外, 冰川的补给调节作用亦是一个重要方面. 由此表明新疆地区, 径流形成的山区气候相对较为稳定, 出山口径流变化较小, 由于年径流量变化主要受年降水的影响, 它的变化与冰川覆盖率没有明显的关系(表 2). 从纬度变化上看, 径流、降水和气温的变化与纬度有较好的关系, 气温变化随纬度的升高升温显著, 这与全球变化规律是完全一致的; 而降水变化较为复杂, 缺少统一的规律, 在 36~43°N 范围(南疆)内, 降水变化差异较大, 在 43~49°N 范围(北疆)内, 降水变化差异较小; 径流和降水的变化与纬度的关系是一致的, 径流变化有一个不十分明显的随纬度增加而减少的趋势, 即南疆径流增加, 北疆径流减少.

表 1 新疆地区 80 年代与 50~70 年代 T_a , P_a 和 R_a 的变化

高度带	径流/ %			降水量/ %			气温/ °C		
	台站数	平均高度	%	台站数	平均高度	%	台站数	平均高度	°C
> 3 000 m				4	3 532	2.7	4	3 532	0.1
> 1 500 m	10	1 835	2.09	24	2 168	6.6	14	2 392	0.107
< 1 500 m	23	1 029	-1.6	69	864	9.0	70	852	0.429
全部	33	1 281	-0.45	93	1 108	8.4	84	1 109	0.375

表 2 R_a , T_a 和 P_a 的变化量与空间位置的关系(相关系数 R)

	台站数	纬度	经度	高度	覆盖率
径流	36	-0.37	-0.15	-0.03	0.08
降水量	93	-0.34	-0.09	-0.12	
气温	85	0.46	0.11	-0.46	

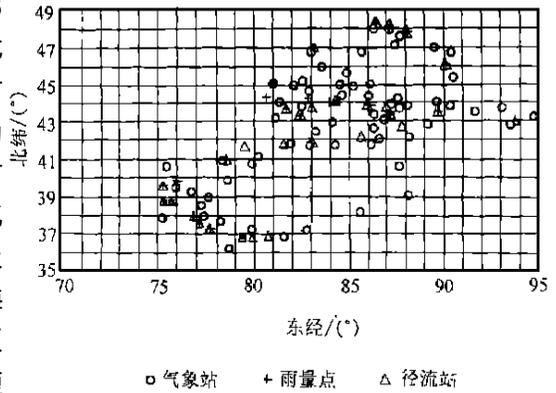


图 1 水文气象站点分布图

2.2 气温、降水和径流的季节变化

气候变化不仅对年径流产生影响,更重要的是对径流的年内分配产生影响,特别是对冰雪补给较大的河流^[6]. 这从近 40 a 来径流的季节变化上可以看出(表 3, 4).

(1) 气温: 气温变化较为明显,尤其是冬季升温对年气温的贡献最为显著,冬季升温幅度达 0.9℃;不同季节的升温幅度均与纬度成正相关,随纬度的增大升温幅度增大,其中尤以秋季最为显著. 这种气温的变化特点与全球变化是一致的^[1]. 从山区与平原区对比看,秋、冬季山区升温小于平原区,夏季则相反;春季山区甚至表现降温.

表 3 不同季节水文气象特征值的平均变化值

高度带	径流/ %				降水量/ %				气温/℃			
	冬季	春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季
> 3 000 m					13.37	- 14.3	10.63	11.35	0.2	- 0.03	0	0.18
> 1 500 m	6.72	15.98	0.05	- 0.76	- 6.7	0.3	10.5	21.4	0.16	- 0.14	0.14	0.14
< 1 500 m	- 2.83	8.532	- 4.38	- 3.07	- 25.1	5.7	9.0	33.0	1.07	0.06	0.07	0.30
全部	0.353	10.86	- 2.99	- 2.35	- 20.9	4.3	9.4	30.0	0.92	0.03	0.08	0.28

表 4 不同季节水文气象特征值的变化与地理位置的关系(相关系数 R)

季节	径流				降水量			气温		
	纬度	经度	高度	冰川覆盖率	纬度	经度	高度	纬度	经度	高度
冬季	- 0.32	- 0.13	- 0.20	0.09	0.45	0.14	0.07	0.24	- 0.1	- 0.42
春季	- 0.43	- 0.29	- 0.13	0.19	- 0.16	0.20	- 0.07	0.24	0.06	- 0.29
夏季	- 0.35	- 0.19	0.13	0.23	- 0.53	- 0.38	0.11	0.21	- 0.01	- 0.06
秋季	- 0.22	- 0.03	- 0.22	- 0.04	- 0.10	0.19	- 0.22	0.54	0.30	- 0.37

(2) 降水: 就各季节降水量的平均变化看,除冬季减少外,其余季节均表现为增加,秋季最为显著,且在全疆不同纬度上均表现为增加;而冬、夏季降水量变化与纬度关系密切,但趋势相反,新疆南部夏季降水量增加幅度较大,而冬季减少幅度较大(图 2). 但还不能肯定这种变化趋势是否是气候变暖条件下这一地区的降水变化趋势.

(3) 径流: 春季径流增加显著,80 年代与前 20 a 相比,径流平均增加约 10%. 从各季节来看,尽管整个春季升温并不明显,但秋季降水的增加使春季融雪补给得以增加,同时气候变暖使流域融雪过程提前,因而造成春季径流显著增加. 这与有关的模型计算结果在变化趋势上完全一致^[7,8]. 各季径流变化随纬度呈反相关关系,其中尤以春季最为显著. 从径流的季节变化看,山区径流变化与冰川覆盖率没有明显关系,但仍以冰川补给最丰富的夏季相关系数最高.

2.3 气温、降水和径流的月变化

由于冰雪径流对河流的补给集中在很短的时段内,同时目前气候变暖的幅度相对较小,使得冰雪径流的变化在年或季节径流变化中不能很好地反映出来,因此有必要通过各月径流的变化进行分析. 表 5 是 1980~ 1989 年与 1956~ 1979 年相比,各月径流、降水量和气温的变化.

(1) 月平均气温的变化: 气温的逐月变化一致性较差,除冬季(11月~ 次年 2月)升温显著外,其他月份则有升有降,交替变化,显示出较大的随机性.

(2) 月平均降水的变化: 除春季各月山区和平原区降水变化不一致外,其他各月降水变化

一致. 增加较大的是 6 月和 9~ 10 月.

(3) 月平均径流变化: 由于新疆河流径流受积雪、冰川的调节作用, 加之形成径流的山区观测台站稀少, 未很好地反映出月径流变化与降水变化的对应关系, 但升温引起的冰雪径流变化在月径流变化中却有明显地反映.

从 7 条典型河流逐月径流变化看(图 3), 所有河流 5 月份径流明显增加, 而 6 月份径流则减少. 从全疆看(图 4), 5 月径流明显增大, 而 6 月大部分河流径流则减少, 且随冰川覆盖率增大而减小, 幅度增大, 其原因可以从河流的融雪补给期和气温升高来解释.

本文选取的水文站平均高度约 1 300 m, 而流域平均高度约在 2 500~ 3 000 m 之间. 图 5 是天山区 4 个不同高度气象站(新源、昭苏、小渠子、大西沟) 1981~ 1996 年平均积雪变化过程, 可以看出, 融雪开始时间从 2 月中(929 m 高度)到 4 月中旬(3 540 m 高度), 相应融雪结束时间分别为 3 月中旬到 7 月中旬. 因此 5~ 6 月是河流的融雪补给期. 从表 5 可以看出, 5 月份气温升高幅度较大, 从而引起融雪径流增加, 使 5 月份径流增大, 同时由于积雪消融和消失时间的提前, 使 6 月份的融雪补给减少, 即使在 6 月降水增加的情况下, 径流仍然减少, 尤其对位置较高、冰川覆盖率大的流域, 更为显著(表 5, 图 4); 与美国西北部一些高山区径流变化^[4] 相比, 新疆

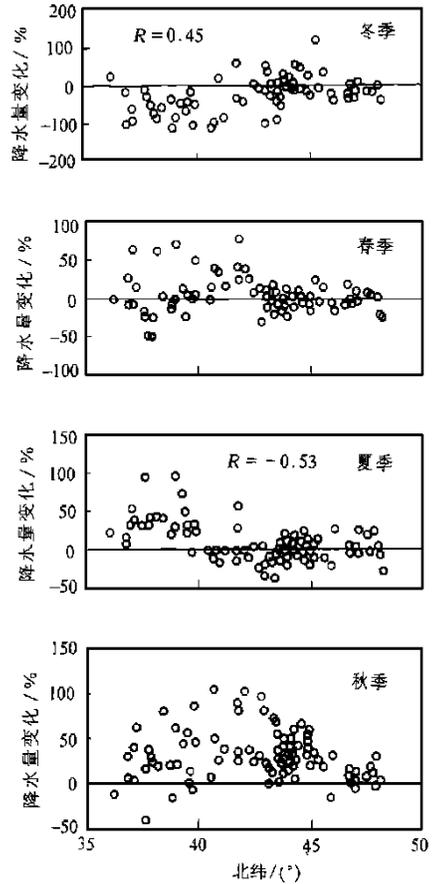


图 2 新疆地区 1980~ 1989 年与 1956~ 1979 年相比各季降水变化

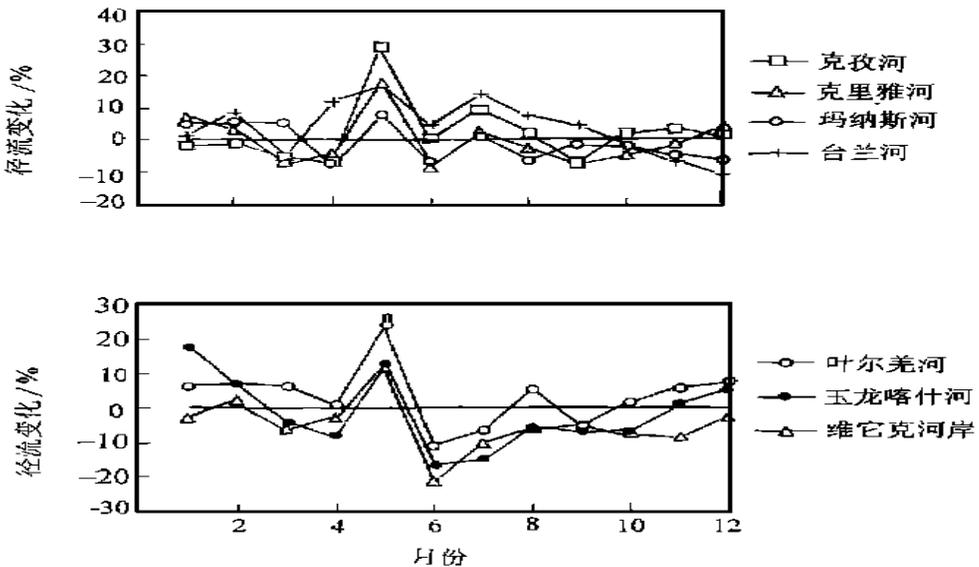


图 3 新疆地区典型河流 1980~ 1989 年与 1956~ 1979 年相比逐月径流变化过程

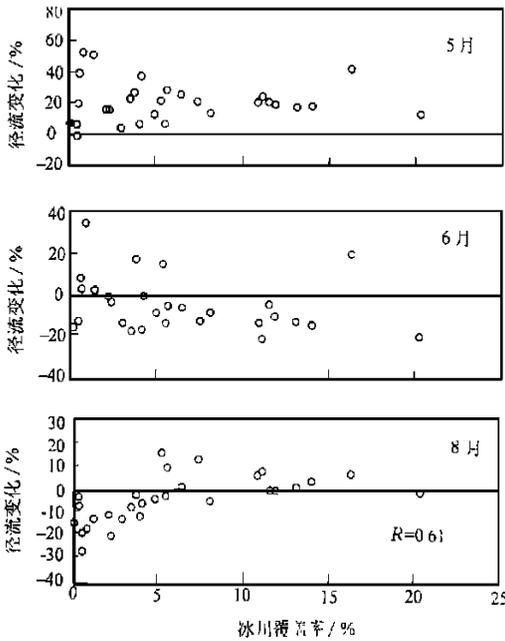


图 4 新疆地区河流 1980~1989 年与 1956~1979 年相比 5, 6, 8 月径流变化与冰川覆盖率的关系

河流径流只有 5 月明显增大, 而美国西北部一些高山区河流不仅春季(2~5 月) 径流增大, 而且在秋季的 10 月径流增大亦非常明显, 其原因除气候变化的区域性差异外, 主要是河流补给类型不同. 新疆河流融雪补给比例相对较小, 而美国西北部的高山河流则主要是冬季降水为主的融雪补给性河流. 由此可以看出, 融雪补给的多少直接关系到河流径流对气候变暖的响应程度.

冰川对径流的补给期是 6~8 月, 其中 7~8 月份是冰川消融最强烈的时期, 同时升温也最为显著(达 0.3~0.5℃), 结果使高山区 7~8 月份在降水减少的情况下, 径流仍表现出增加, 尤其是 8 月份表现最为显著, 且径流变化与冰川覆盖率有较高的正相关关系, 这进一步表明了气候变暖条件下冰川径流的增加趋势和对径流的调节作用, 即冰川的存在可在一定程度上削弱和减缓气候变暖对径流的不利影响.

3 小结与讨论

通过 1980~1989 年与 1956~1979 年气

温、降水和径流的对比分析, 初步得出以下结论.

(1) 低山带气温和降水变化与差异较大, 中高山区变化与差异较小, 表明了山区气候较为稳定.

(2) 80 年代升温明显, 尤以冬季升温幅度最大, 且升温与纬度呈正相关关系; 秋季降水普遍增加, 冬夏季降水变化随纬度变化明显, 其中冬季为正相关, 夏季为反相关.

(3) 由于春季气温升高, 尤其是 5 月份, 使融雪过程加强并提前结束, 结果使春季径流增加, 5 月径流增大, 平均增加约 20%, 6 月在降水增加的情况下, 径流仍然减少.

(4) 在冰川消融最强烈的 8 月, 径流的变化与冰川覆盖率有较好的相关关系. 由于升温明显(达 0.5℃), 使冰川消融加剧, 结果使高山区 8 月份在降水减少的情况下, 径流仍表现出增加, 这充分反映了冰川对径流的调节作用.

但由于各个流域所处地理位置和下垫面等条件的差异, 山区资料的短缺以及冰、雪、降雨和径流形成的复杂性及其相互作用, 难以用有限资料作出气候变暖引起冰雪径流变化的定量估计, 对此有待进一步的工作.

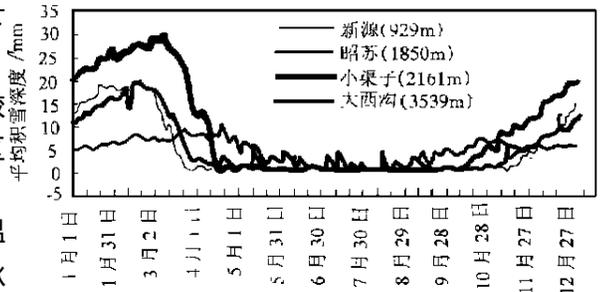


图 5 天山区 4 个不同高度气象站 1981~1996 年平均积雪深度年内变化过程图

表 5 1980~1989 年与 1956~1979 年之间各月径流、降水量和气温的变化

高度带/m	平均高度/m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
径流/%	>1500	1835	8.40	7.85	1.60	-1.31	26.15	-6.33	0.88	2.37	-1.79	0.62	2.01	5.7
	<1500	1029	-0.52	-1.81	-5.61	-6.77	19.09	-5.12	-2.90	-6.62	-3.29	-2.09	-3.85	-2.78
	全部	1281	2.27	1.21	-3.36	-5.07	21.29	-5.50	-1.72	-3.81	-2.82	-1.24	-2.02	-0.13
降水/mm	>3000	3532	-0.60	0.35	0.75	-0.70	-3.80	-1.60	-0.50	-0.90	-0.30	3.58	0.53	0.68
	>1500	2174	-0.60	-0.39	0.08	1.11	-0.53	3.62	-0.95	-1.94	3.62	4.83	0.53	0.25
	<1500	837	-0.74	-0.88	-2.49	-0.95	2.91	4.24	-1.82	-0.87	2.93	3.77	1.20	-0.32
	全部	1216	-0.71	-0.75	-1.82	-0.42	2.02	4.08	-1.60	-1.15	3.11	4.04	1.03	-0.18
气温/°C	>3000	3532	0.13	0.35	-0.08	-0.53	0.50	-0.43	0.13	0.35	-0.15	-0.08	0.85	0.25
	>1500	2392	0.43	0.04	-0.53	-0.26	0.38	-0.41	0.34	0.50	0.17	-0.18	0.48	0.39
	<1500	852	1.83	0.90	-0.24	0.07	0.36	-0.51	0.24	0.49	0.20	0.04	0.67	1.08
	全部	1109	1.60	0.76	-0.29	0.01	0.36	-0.49	0.26	0.49	0.19	0.00	0.64	0.96

致谢 本文写作过程中得到中国科学院兰州冰川冻土研究所曹梅盛、李培基研究员、刘凤景副研究员的帮助, 谨在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- 1 Watson R, Zinyowera M. Impacts, adaptation and mitigation of climate change: scientific-technical analyses. *Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 248~ 249
- 2 赖祖铭, 叶佰生. 西北地区河川径流变化及其趋势. 见: 施雅风主编. 气候变化对西北、华北水资源的影响. 济南: 山东科学技术出版社, 1994. 95~ 119
- 3 Aizen V, Azeiz E. Climatic and hydrological changes in the Tien Shan. *Central Asia J of Climate*, 1997, 10(6): 1 393~ 1 404
- 4 Pelto M A. Changes in glacier and alpine runoff in the north Cascade range. Washington, USA 1985~ 1993, *Hydrological Processes*. 1996, 10: 1 173~ 1 180
- 5 江剑明, 王 强. 对我国年、季大气干旱指数的气候跃变分析. *气象学报*, 1993, 51(2): 237~ 240
- 6 Gleick P H. Climate change, hydrology and water resources. *Reviews of Geophysics*, 1989, 27(3): 329~ 334
- 7 Gleick P H. The development and testing of a water balance model for climate impacts assessment. *Water Resources Research*, 1987, 23(6): 1 049~ 1 061
- 8 叶佰生, 赖祖铭. 气候变化对天山伊犁河上游河川径流的影响. *冰川冻土*, 1996, 18(1): 29~ 36