

文章编号:1000-0240(2005)01-0100-06

# 我国过去 50 a 来降水变化趋势及其 对水资源的影响( ) : 月系列

叶柏生<sup>1</sup>, 李 翀<sup>2</sup>, 杨大庆<sup>3</sup>, 丁永建<sup>1</sup>, 沈永平<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国水利水电科学研究院 防洪减灾研究所, 北京 100038;

3. Water and Environment Research Center, University of Alaska Fairbank, Fairbank Alaska 99775, USA)

**摘 要:** 应用全国范围内的 678 个气象站 1951—1998 年长系列逐月降水资料, 用线性回归方法研究降水量的变化趋势, 同时结合长江、黄河和松花江主要控制水文站同期的径流资料, 研究径流对气候变化的响应。结果表明: 降水的年内变化表现出较大的区域特性, 最显著的变化特点是秋冬季(8~12 月)东部地区降水量普遍减少, 1~3 月江南地区降水有增加趋势。气候的上述变化趋势对我国干旱的西北地区有利, 该区河流径流量有明显增加; 另一方面, 夏季降水的增加可能会导致洪水事件的频发, 与此同时, 降水量的年内不均匀变化, 特别是在 8~12 月长时间的降水减少趋势, 导致枯水期径流的减少, 从而加剧秋冬季水资源的供需矛盾。长江、黄河和松花江主要控制水文站 6 个站 1~4 月径流基本上表现为增加趋势, 而 6~12 月大多表现为减少趋势, 只有黄河上游唐乃亥站 6 月, 长江下游大通站 7 月和松花江哈尔滨站 8 月径流为增加; 另外, 气候变暖使发源于青藏高原的长江(宜昌站 3、4 月)和黄河上游(唐乃亥站 4~6 月)的春季的融雪过程提前, 融雪期径流增加。

**关键词:** 降水变化; 径流变化; 洪水灾害; 中国

**中图分类号:** P343 **文献标识码:** A

## 1 前言

人们在关注径流的年际变化的同时, 更关注其年内变化<sup>[1~3]</sup>, 径流的年内变化直接与河流的洪涝灾害相联系。国内亦有相关的研究<sup>[4~8]</sup>, 这些研究涉及到长江、黄河以及中国西北和东北地区, 研究内容有气候变化和人类活动对径流影响以及干旱指数变化等。

本文在年降水和径流分析的基础上<sup>[9]</sup>, 进一步通过全国 678 个气象站 1951—1998 年间降水资料, 分析降水年内变化的区域特征, 以及黄河、松花江和长江径流对气候变化的响应。

## 2 研究方法和资料

研究方法和资料详见文献[9], 本文主要针对

逐月系列资料进行分析, 同时由于缺乏珠江梧州站的逐月径流资料暂不分析。

## 3 月降水和径流变化趋势

年降水分布的变化, 直接导致各区域水资源的变化, 但降水量的年内变化亦会引起径流年内分配的变化, 其变化对水资源的利用同样会带来较大的影响, 有必要从降水和径流的年内变化进行分析。

1951—1998 年间各月降水量变化具有明显的区域特征(图 1), 其变化趋势的主要特征可以归纳为: 1) 西部地区降水变化趋势较小, 大多数月份表现为增加趋势; 2) 东部地区, 特别是江南地区, 降水变化趋势差异较大, 而且同一地区, 不同月份表现为完全相反的变化, 如 5 月和 7 月的长江中下游地区, 5 月表现为显著的减少, 而到 7 月则为显著

收稿日期: 2004-05-09; 修订日期: 2004-06-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(49971022); 中国科学院知识创新工程方向项目(KZCX3-SW-345); 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所引进国外人才基金项目(20041116)资助

作者简介: 叶柏生(1964—), 男, 甘肃武威人, 研究员, 1994 年在中国科学院兰州冰川冻土研究所获博士学位, 现主要从事寒区水文研究。  
E-mail: yebs@lzb.ac.cn

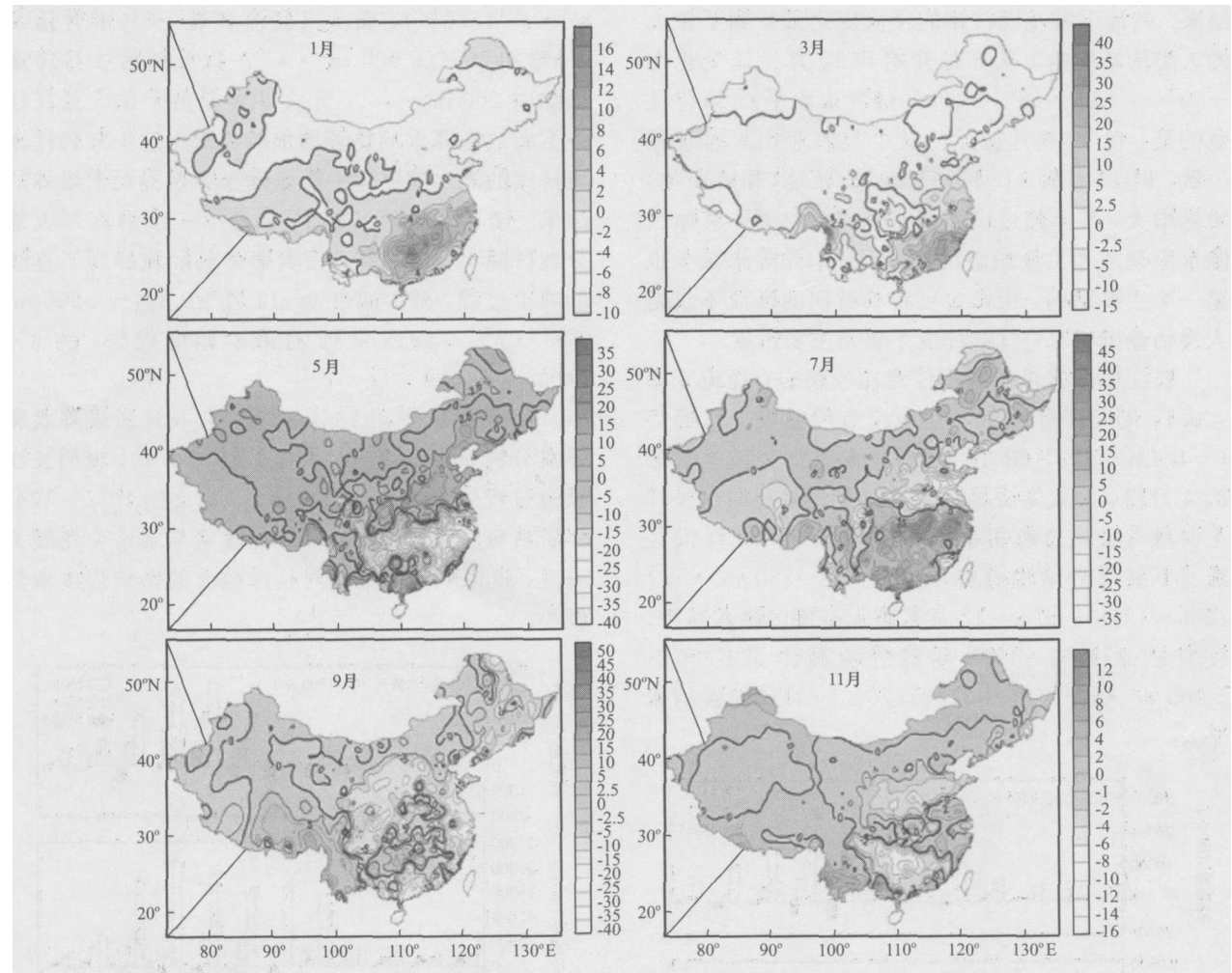


图 1 1951—1998 年逐月降水量变化趋势分布图[mm · (10a)<sup>-1</sup>]

Fig. 1 Long-term changing trend of monthly precipitation over China during 1951—1998

的增加趋势，而华北地区则正好相反，5 月显著增加，7 月显著减少；3) 8~12 月间，除东北北部地区外，东部的其它大部分地区降水普遍表现为减少趋势，个别地区有增加趋势，但其范围的大小和位置不同月各不相同；4) 1~3 月在我国东南地区有一降水增加区域，这一区域从 1 月到 4 月逐步减小。

月降水量的上述变化特点同样在黄河和长江的径流变化中得到反映。图 2~4 为长江、黄河和松花江 1951—1998 年月平均径流量、方差和变化趋势，图中的趋势项为 1951—1998 年的总趋势。从图 2 可以看出，黄河上游唐乃亥站的冬季径流变化较小，从 3 月到 6 月经流有明显的增加趋势，从 3 月的 3.6% 增大到 6 月的 31.6%。这一结果主要是气候变暖<sup>[10, 11]</sup>导致融雪径流提前，类似的变化在其它一些具有寒区特征的河流中都有报道<sup>[1~3, 12]</sup>。而 8~11 月则为不显著的 10%~20% 减少趋势，主要

原因是 8~12 月我国大部分地区的降水减少的直接

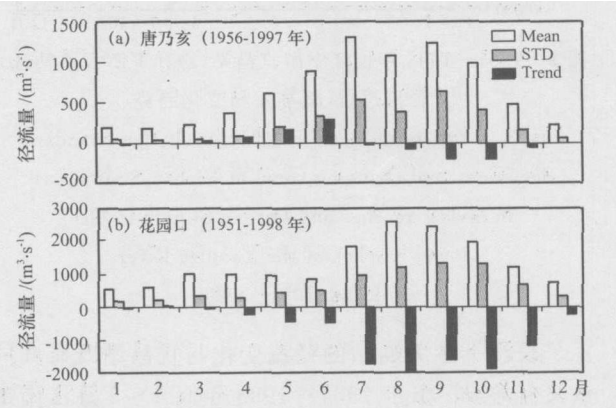


图 2 1951—1998 年黄河上游唐乃亥(a)和下游花园口(b)月径流过程、标准差和变化趋势

Fig. 2 Long-term mean monthly discharge, standard deviation, and trend at Tangnaihai Station in the upper reaches (a) and Huayankou Station in the lower reaches (b) of the Yellow River during 1951—1998

结果. 黄河下游花园口站的径流变化则受到了较大的人类活动影响, 从3月开始到12月径流变化在 $-20\% \sim -98\%$  (85%~99%的置信水平). 值得注意的是, 在3~9月径流的减少与农业用水过程相一致, 但10月和11月的径流减少幅度(相对变化)突然增大, 甚至超过农业用水高峰的7月, 其原因除水库调节和工业城市用水外, 秋季的降水减少也是一个主要原因. 由此也可看出黄河的断流不仅是人类活动的结果, 气候的变干也是主要因素.

长江中游宜昌站冬季径流比较稳定, 径流变率 $<0.1$ , 同时在过去50 a中也没有明显的变化趋势( $-1.7\% \sim 3\%$ ) (图3). 同样, 在融雪径流季节的3、4月份, 气候变暖导致了发源于青藏高原的长江上游融雪径流过程提前, 而使1951—1998年间径流呈不显著的增加趋势, 增加 $520 \sim 580 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (9%~12%); 而8~12月东部大范围的降水减少, 使宜昌站1951—1998年的径流减少了 $1300 \sim 5000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (5%~21%) (70%~90%的置信水平).

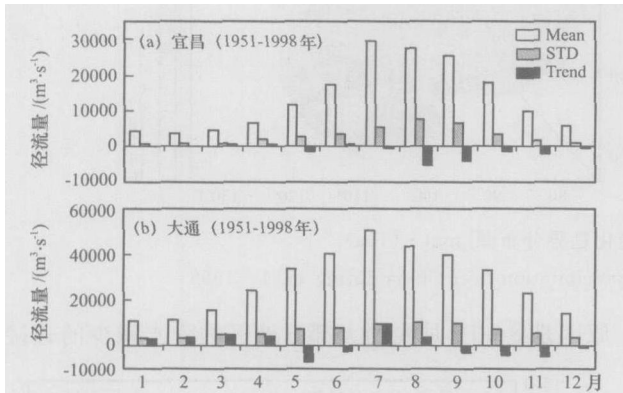


图3 1951—1998年长江中游宜昌站(a)和下游大通站(b)月径流过程、标准差和变化趋势

Fig. 3 Long-term mean monthly discharge, standard deviation, and changing trend at Yichan Station (a) in middle reaches and Datong Station in (b) lower reaches of the Yangtze River during 1951—1998

长江下游大通站的径流变化与宜昌站既有共同点又有差异. 由于1951—1998年间1~3月江南地区降水的增加, 使大通站的径流显著增加 $2700 \sim 4300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (90%以上置信水平); 同时由于长江下游地区湖泊众多, 调蓄能力强, 使4月在中下游地区降水减少的情况下径流仍表现出了增加趋势. 同样, 4、5月份的长江下游地区降水的减少导致5、6月径流分别减少 $6700 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (20%) 和 $2300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (5.6%), 而7月径流显著(95%的置信水

平)增加 $20\%$  ( $9900 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) 以及随后8月径流增加( $3200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , %), 主要是由于6、7月长江中下游地区降水的显著增加的结果. 近年来长江流域持续的洪水就是这一降水增加引起的径流增加的结果. 接下来的9~12月, 由于8~12月东部大部分地区降水量的减少, 使大通站的径流经历了连续的减少过程, 减少幅度9~11月为 $2800 \sim 4200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (7%~19%), 12月减少幅度较少, 约3% ( $400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

林承坤等<sup>[13]</sup>用1951—1979年长江流域降水和径流分析得到二者的相关系数高达0.99, 说明长江径流过程受人类活动影响较小. 本文用1951—1998年资料分析也表明, 长江月径流量与降水变化较为一致, 这说明人类活动对长江径流的影响程度依然较小.

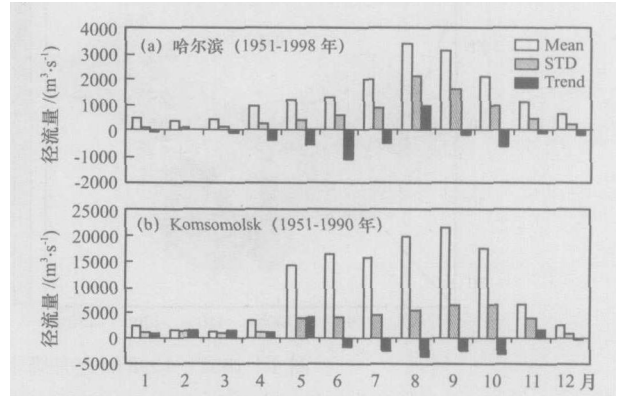


图4 1951—1998年松花江哈尔滨站(a)和1951—1990年下游 Amur 河 Komsomolsk 站(b)月径流过程、标准差和变化趋势

Fig. 4 Long-term mean monthly discharge, standard deviation, and trend at Harbin Station in the Songhua River (a) during 1951—1998 and Komsomolsk Station in the Amur River (b) during 1951—1990

松花江哈尔滨站和黑龙江下游 Amur 河 Komsomolsk 站径流变化差异较大. 哈尔滨站除7月为 $940 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (28%) 的增加趋势和2月的微弱增加趋势外, 其它月份均表现为减少趋势. 其中, 4~6月表现为显著( $>95\%$ 显著性)的减少, 减少幅度在 $350 \sim 1070 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (38%~83%). 径流年内变化除受降水变化外, 还受到人类活动如灌溉和水库调节的影响. 1951—1990年间, 松花江下游 Amur 河 Komsomolsk 站1~5月均为增加趋势, 增加幅度在 $910 \sim 4010 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (29%~110%), 其中1~4月超过95%的信度; 6~12月除11月为增加外均

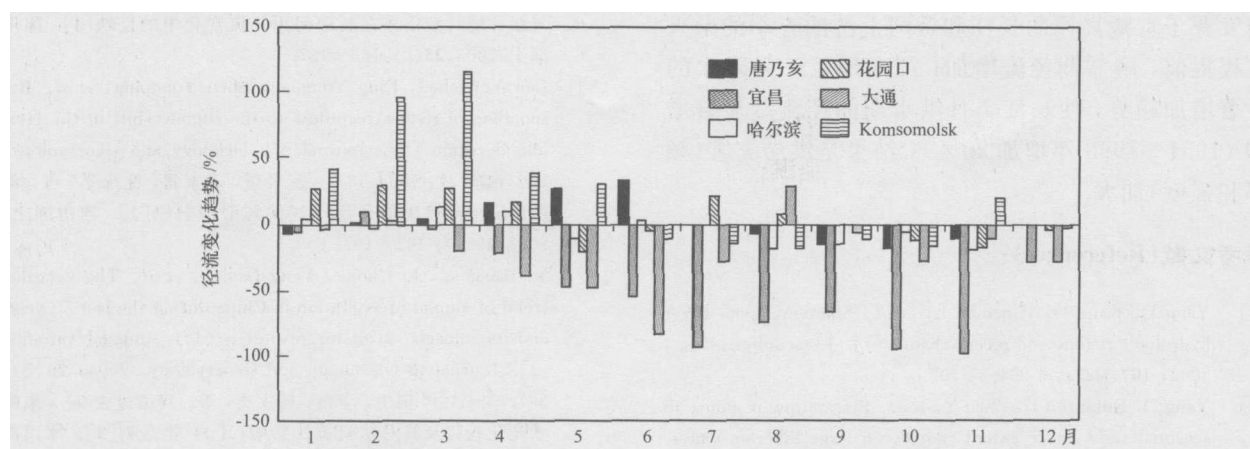


图5 1951—1998年黄河、长江和松花江/Amur河主要控制站月径流的相对变化趋势  
(Amur河 Komsomolsk 站资料为 1951—1990)

Fig.5 Long-term trend of monthly discharge at the main stations in the Yellow River, the Yangtze River and the Songhua River/Amur Rivers during 1951—1998

表现为减少趋势,减少幅度在  $90 \sim 3\,677\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (4%~19%)。径流的这种年内变化一方面可能是气候变化的结果;另一方面主要还是以发电为主水库调节作用的结果,在松花江上游有著名的丰满水电站(库容  $81.1 \times 10^8\text{ m}^3$ ),下游的 Amur 河支流 Zeya 和 Bureya HPS 河上有两大水电站。

从以上分析可以看出,江南地区洪水季节(7月)降水的显著增加趋势和枯水季节(8~12月)降水的减少趋势,使长江、淮河和珠江等流域的洪涝和干旱灾害(频率和强度)都有加大的趋势。在黄河流域,尽管降水减少加之人类活动的影响,下游地区径流减少显著,但由于降水日数减少和降水强度的增加<sup>[9]</sup>,在持续干旱的同时,也有发生局部洪水的可能。从降水强度、频率以及旱涝灾害的变化趋势看,可概括为“涝中有旱,旱中有涝”。虽然由于年降水的变化使各区域“涝者愈涝,旱者愈旱”,但涝之区域,如江西、湖南等,亦往往于大涝之后,出现大旱,如2003年出现的情形所示;而旱之区域如海河流域,亦有1996年大水之痛。这一涝旱相间、旱涝互现的特点,是直接源于近50a来东部地区降水日数的减少,而相应的平均降水强度却在增加这一变化所致。

比较长江、黄河和松花江各控制站逐月径流的变化趋势看(图5),1~4月径流基本上表现为增加趋势。而6~12月则表现为减少趋势,其中1~4月的增加有降水增加的因素(长江流域大通站1~4月)和气温升高引起的融雪过程提前导致的径流增加(宜昌站3、4月,唐乃亥站4~6月, Komsomolsk 站4~5月)以及水电站的调节作用(Komsomolsk 站1~3月),除大通站7月份由于长江下游

降水显著增加导致径流增加和黄河唐乃亥站径流受降水影响外,其它台站夏季6~8月径流的减少则是人类活动如水库调节、工农用水等和降水减少共同作用的结果;9~12月径流的减少可能主要是秋季降水减少的结果(如唐乃亥站、大通站等),秋季径流的减少在西伯利亚 Lena 河流域也有表现<sup>[3]</sup>。这可能是全球气候变化背景下,整个东亚地区的一种区域性变化特征。

#### 4 结论及讨论

基于全国678个气象站1951—1998年长系列日降水资料,本文用线性回归方法研究了全国范围的逐月降水量变化趋势,并进行了显著性检验。同时,结合代表性的黄河和长江以及松花江、Amur河径流资料,分析了径流变化对气候变化的响应以及由此带来的水资源问题。结果表明:降水的年内变化表现出较大的区域特性,显著特点是秋冬季(8~12月)东部地区降水量普遍减少,1~3月江南地区降水有增加趋势;5月和7月的长江中下游地区,5月表现为显著的减少,而到7月则为显著的增加趋势,而华北地区则正好相反,5月显著增加,7月显著减少。

降水量的年内不均匀变化以及人类活动(灌溉和水库调节),导致径流在季节上的显著变化,3条河6个站1~4月径流基本上表现为增加趋势,而6~12月则表现为减少趋势,特别是在8~12月长时间的降水减少趋势,导致枯水期径流的减少,从而加剧秋冬季水资源的供需矛盾。另外,气候变暖

使发源于青藏高原的长江和黄河上游的春季的融雪过程提前,融雪期径流增加;江南地区 7 月降水的显著增加趋势,使长江 7 月洪水期的径流量显著增加(1951—1998 年增加 20%),结果是洪涝灾害(频率和强度)加大。

### 参考文献(References):

- [1] Yang D, Kane D, Hinzman L, *et al.* Siberian, Lena River hydrologic regime and recent change [J]. *J. Geophys. Res.*, 2002, **107**(D23): 4 694 - 4 703.
- [2] Yang D, Robinson D, Zhao Y, *et al.* Streamflow response to seasonal snow cover extent changes in large Siberian watersheds [J]. *J. Geophys. Res.*, 2003, **108**(D18): 4 578 - 4 589.
- [3] Ye B, Yang D, Kane D L. Changes in Lena River streamflow hydrology: human impacts versus natural variations [J]. *Water Resour. Res.*, 2003, **39**(7): 1 200 - 1 210.
- [4] Chen X, Zong Y, Zhang E, *et al.* Human impacts on the Changjiang (Yangtze) River basin, China with special reference to the impacts on the dry season water discharge into the sea [J]. *Geomorphology*, 2001, **41**: 111 - 123.
- [5] Xu Z, Takeuchi K, Ishidaira H, *et al.* Sustainability analysis for Yellow River water resources using the system dynamics approach [J]. *Water Resources Management*, 2002, **16**: 239 - 261.
- [6] Ye Baisheng, Ding Yongjian, Kang Ersi, *et al.* Response of the snowmelt and glacier runoff to the climate warming up in the last 40 years in the Xinjiang Autonomous Region, China [J]. *Science in China (D)*, 1999, **42**: 44 - 51.
- [7] Zhang Guowei, Wu Sufen, Wang Zhijie. The signal of climatic shift in Northwest China deduced from river runoff change in Xinjiang Region [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, **25**(2): 183 - 187. [张国威, 吴素芬, 王志杰. 西北气候环境转型信号在新疆河川径流变化中的反映[J]. *冰川冻土*, 2003, **25**(2): 183 - 187.]
- [8] Lan Yongchao, Ding Yongjian, Shen Yongping, *et al.* Responding of river streamflow to the climate shift in the Hexi inland region [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, **25**(2): 183 - 187. [蓝永超, 丁永建, 沈永平, 等. 河西内陆河流域出山径流对气候转型的响应[J]. *冰川冻土*, 2003, **25**(2): 192 - 197.]
- [9] Ye Baisheng, Li Chong, Yang Daqing, *et al.* The variation trend of annual precipitation in China during the last 50 years and its impacts on water resources (I): Annual variation [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2004, **26**(5): 587 - 594. [叶柏生, 李翀, 杨大庆, 等. 我国过去 50 年来降水变化趋势及其对水资源的影响(一): 年系列[J]. *冰川冻土*, 2004, **26**(5): 587 - 594.]
- [10] Wang Shaowu, Gong Daoyi, Zhai Panmao. Climate change [A]. Qin Dahe. The Environment Characteristic and Its Evolvement over West China, Assessment on the Environment Evolvement over West China [M]. Beijing: Science Press, 2002. 29 - 71. [王绍武, 龚道溢, 翟盘茂. 气候变化[A]. 中国西部环境演变评估(秦大河总编), 中国西部环境特征及其演变(第二卷)[M]. 北京: 科学出版社, 2002. 29 - 71.]
- [11] Liu Xiaodong, Chen Baode. Climatic warming in the Tibet Plateau during recent decades [J]. *Inter. J. Climatol.*, 2000, **20**: 1 729 - 1 742.
- [12] Serreze M C, Bromwich D H, Clark M P, *et al.* Large scale hydro-climatology of the terrestrial Arctic drainage system [J]. *J. Geophys. Res.*, 2002, **108**(D2): 8 160 - 8 178.
- [13] Lin Chengkun, Wu Xiaogen. The study on characteristic and its meaning of the discharge in Yangtze River [J]. *Journal of Nature*, 1999, **21**(4): 200 - 205. [林承坤, 吴小根. 长江径流量特性及其重要意义的研究[J]. *自然杂志*, 1999, **21**(4): 200 - 205.]

## Variation Trend of Precipitation and Its Impact on Water Resources in China during Last 50 Years ( ) : Monthly Variation

YE Bai-sheng<sup>1</sup>, LI Chong<sup>2</sup>, YANG Da-qing<sup>3</sup>, DING Yong-jian<sup>1</sup>, SHEN Yong-ping<sup>1</sup>

(1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou Gansu 730000, China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 3. Water and

Environment Research Center, University of Alaska Fairbanks, Fairbank Alaska 99775, USA)

**Abstract:** In this paper the changing trends of monthly precipitation over China during the last 50 years are analyzed based on the long-term precipitation data at 678 meteorological stations in China, and the response of river runoff to climate change are also analyzed based on the monthly runoff data at the main hydrological stations of the Yellow River, the Yangtze River and the Songhua River/Amur River by using the linear regression methodology. It is found that the monthly variation of precipitation demonstrates an obvious region-dependence. A generally decreasing trend is mainly in the eastern region of China from August to December, and an increasing trend is in South China from January to March. The contradiction between water supply and demand during fall and winter becomes more and more serious owing to the obvious decrease of river runoff in the dry season caused by the uneven change in precipitation within one year, and especially because of the constant

decrease of precipitation from August to December, and the discharge increase due to increase in precipitation in flood period lead to more floods. In addition, the earlier snowmelt process in the spring due to warming climate in the upper Yangtze River and the Yellow River, originated all from the Tibetan Plateau, leads to an increase of runoff in the two rivers in snowmelt period. The long-term trends in discharge at the control stations in the three rivers during 1951—1998 show positive from January to April, but negative from June to December, except for an increasing trend in discharge at Datong station in the lower Yangtze River in July, at Tangnag Station in the upper Yellow River in June and at Harbin Station in the Songhua River in August. This is caused by precipitation change, earlier snowmelt due to global warming, and human activities such as irrigation and regulation of hydropower stations.

**Key words:** precipitation variation; runoff change; flood disaster; China