

周德刚, 黄荣辉, 黄刚. 近几十年来长江上游流域气候和植被覆盖的变化 [J]. 大气科学学报, 2009, 32 (3): 377-385.

近几十年来长江上游流域气候和植被覆盖的变化

周德刚^{1,2}, 黄荣辉², 黄刚³

(1. 中国科学院 青藏高原研究所, 北京 100085; 2. 中国科学院 东亚区域气候环境重点实验室, 北京 100029;

3. 中国科学院 大气物理研究所 季风系统研究中心, 北京 100190)

摘要: 利用中国 740 台站资料分析了长江上游流域近 50 a 来降水和气温的变化。结果表明, 年降水量在 20 世纪 50 年代和 60 年代总体偏多, 90 年代后在上游的中部和东北部偏少; 年平均气温自 80 年代中期以来呈现增加的趋势, 特别是在上游西北部升温更加明显。在各季节中, 区域平均的降水量在秋季有明显减少的趋势, 区域平均的气温在冬季的增温更加显著。长江上游降水强度也存在年代际变化, 区域平均的弱降水天数和中等强度降水天数都呈现减少的趋势。1982—2001 年的归一化植被指数 (I_{NDV}) 数据显示, 在上游的东部区域, 植被有明显的退化; 在西部区域, 植被活动性有所增加。 I_{NDV} 与同期气候变化的相关关系表明, 植被覆盖与降水量基本不相关, 6—8 月平均的 I_{NDV} 与同期的气温有明显的正相关, 即气温的升高有利于植被的生长。

关键词: 长江上游; 气候变化; 植被覆盖; 降水强度

中图分类号: P467 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-7097 (2009) 03-0377-09

Variations of Climate and Vegetation Cover over the Upper Reaches of Yangtze River in the Past Decades

ZHOU De-gang^{1,2}, HUANG Rong-hui², HUANG Gang³

((1. Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China;

2. RCE-TEA, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

3. Center for Monsoon System Research, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China))

Abstract: Based on the 740-station data from China Meteorological Administration, the interdecadal variations of precipitation and air temperature in the recent 50 years in the upper reaches of Yangtze River are analyzed. Results indicate that annual precipitation in 1950s and 1960s is generally higher than the normal, and is lower in the middle and northeast of the upper reaches since 1990s; annual temperature has an increasing trend since the mid 1980s, especially in the northwest of the upper reaches. Among the variations of all seasons, autumn regional mean precipitation varies obviously with a decreasing trend, and winter regional mean temperature increases more significantly. The interdecadal variation of rainfall intensity shows that the regional mean days of small precipitation and middle precipitation have a decreasing trend over the upper reaches of Yangtze River. The variation of normalized different vegetation index (NDVI) from 1982 to 2001 shows that the vegetation in the eastern of the upper reaches has an evident degradation trend, while the vegetation activity in the western of the upper reaches increases. Interannual correlations between NDVI and climate changes show that there is uncorrelation essentially between rainfall and NDVI, while there is a significant correlation between NDVI from June to August and simultaneous temperature, meaning that temperature increase would be benefit to the photosynthesis and respiration of the vegetation.

Key words: the upper reaches of Yangtze River; climate change; vegetation cover; rainfall intensity

收稿日期: 2009-01-12; 改回日期: 2009-05-04

基金项目: 中国科学院东亚区域气候环境重点实验室开放课题 (08VA011001); 国家重点基础研究发展计划项目 (2004CB418300; 2006CB400500); 科学院三期创新方向项目 (KZCX2-YW-220); 国家自然科学基金资助项目 (40775051; U0733002); 中国科学院知识创新工程领域前沿项目 (KAP07314)

作者简介: 周德刚 (1978—), 男, 湖北广水人, 博士后, 研究方向为气候与生态和水文变化, dgzhou@ipcas.ac.cn

0 引言

长江是中国第一大河,流域总面积达 180 万 km^2 ,是我国社会经济高度发达的地区之一。其中,从长江源头至宜昌为长江的上游段,该区域地形复杂,包含有金沙江、岷江、嘉陵江、乌江等支流,是长江的重要产流区。长江上游流域既受东南季风和西南季风的影响,又受到青藏高原的影响^[1-2],同黄河源区一样均是气候变化的脆弱地区。黄河源区的径流在 20 世纪 90 年代后大幅减少^[3],备受人们关注;近几年,长江上游的径流量也呈现减少的趋势^[4-5],长江也出现枯水现象,引起了人们的广泛关注。目前,对黄河源区研究较多,研究表明,气候和地表植被覆盖的变化对径流量有重要影响^[6-7]。在长江流域,已经相继展开了一些研究。Zhang 等^[8]和 Su 等^[9]利用长江流域 51 个气象台站资料分析了整个流域的气候变化。孙琪等^[10]基于 GIS 分析了长江中上游降水的空间分布。王艳君等^[11]分析了长江上游气候和径流变化。伍星等^[12]、Yang 等^[13]利用卫星遥感资料分析了长江上游土地覆盖的变化。也有研究探讨了人类活动对长江流域植被覆盖的影响^[14]。但总的来说,对于长江上游气候和植被覆盖的局地分布及其变化的研究还不够,需要进一步深入研究长江上游气候、植被覆盖变化状况,以及与径流变化之间的关系。

选用中国 740 台站 1951—2006 年的气温和降水资料,探讨了长江上游的气候变化,利用 Pathfinder NOAA-AVHRR/NDV I 数据分析了植被覆盖的变化,初步探讨气温和降水变化对径流的可能影响。这对长江上游气候和水文生态环境的演变、发展趋势以及影响适应机制,具有十分重要的意义。

1 长江上游气温和降水的年代际变化

根据中国 740 台站 1951—2006 年的气温和降水资料,筛选出位于长江上游流域内观测时间较长(50 a 以上)的 73 个站点(图 1a),对这些站点近 50 a 来的气象数据取多年平均,然后用克里格方法插值到 $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ 的网格点上,得到长江上游流域多年平均的年降水量和年平均气温的分布(图 1b、c)。由图 1b 和 c 可以看到,在长江上游,降水很不均匀,在雅安站年平均降水量在 1 600 mm 以上,而在长江源头区,年平均降水量在 400 mm 以下,区域降水量在总体上为从东南向西北逐渐减少的分布;气温的分布总体上也是从东南向西北逐渐降低的分

布,在四川盆地和云南楚雄一带年平均温度在 16 以上,而在长江源头区气温在 -4°C 以下。

用各年代的平均值减去几十年来的气候平均值,则得到长江上游流域降水和气温在各年代的距平分布(图 2、3)。由图 2 可见,在 20 世纪 50 年代,除了在长江源头区和重庆一带降水偏少,在流域的大部分区域降水均偏多;60 年代降水整体偏多;70 年代在流域的东南部略偏多,其他地方略偏少;80 年代在流域的东北部偏多,其他地方略偏少;20 世纪 90 年代和 21 世纪初降水在西南部略偏多,在流域的中心区域和东北部均偏少,特别是在 21 世纪初,成都一带降水明显偏少,负距平达 -160 mm 。由图 3 可见,在 20 世纪 50 年代和 60 年代,长江上游西北部温度均偏低;70 年代略有升高;80 年代后在流域的东部成都平原温度又降低;自 90 年代以来温度距平大都为正值;21 世纪初在上游流域的西北部温度正距平非常明显,最大值在 0.8 以上,其温度值相对 20 世纪 90 年代最大升高了近 0.6,在西北部温度升高非常迅速。

对长江上游流域的降水和气温取区域平均,得到该区域平均的年降水量和气温的年际变化(图 4a、b)。由图 4 可以看到,年降水量在 20 世纪 60 年代和 80 年代初偏多,90 年代后除了 1998—2000 年外其他年份均偏少,年降水量变化略有减少的趋势,但并不显著;从各季节看,秋季的降水有明显减少的趋势(图略),通过了 0.05 的显著性水平检验,减少趋势为 $-5.5\text{ mm}/(10\text{ a})$ 。年平均气温在 20 世纪 50 年代末较高,之后逐渐降低,在 80 年代中期后又转变为明显上升的趋势,这种增温趋势达到 $0.37^\circ\text{C}/(10\text{ a})$,并通过了 0.01 的显著性水平检验;从各季节看,冬季温度增加的趋势相对其他季节更加明显(图略)。另外,平均气温日较差在 60 年代较大,之后至 90 年代初为减小的趋势,自 90 年代以来又呈现增大的趋势。

按照日降水量的强度把降水分为弱降水(日降水量小于 10 mm)、中等强度降水(日降水量在 10 ~ 25 mm 之间)和强降水(日降水量大于 25 mm),分别统计每年 3 类强度降水的天数,取区域平均,则不同强度降水天数的年际变化如图 5 所示。其中,弱降水有显著减少的趋势,弱降水天数在 1995 年以后平均比之前少约 5 d;中等强度降水天数在 20 世纪 80 年代中期以后相对偏少;强降水天数存在波动,在 70 年代中期和 80 年代末至 90 年代中期偏少,在经历 1998 和 1999 年较多的强降水后,近几年强降

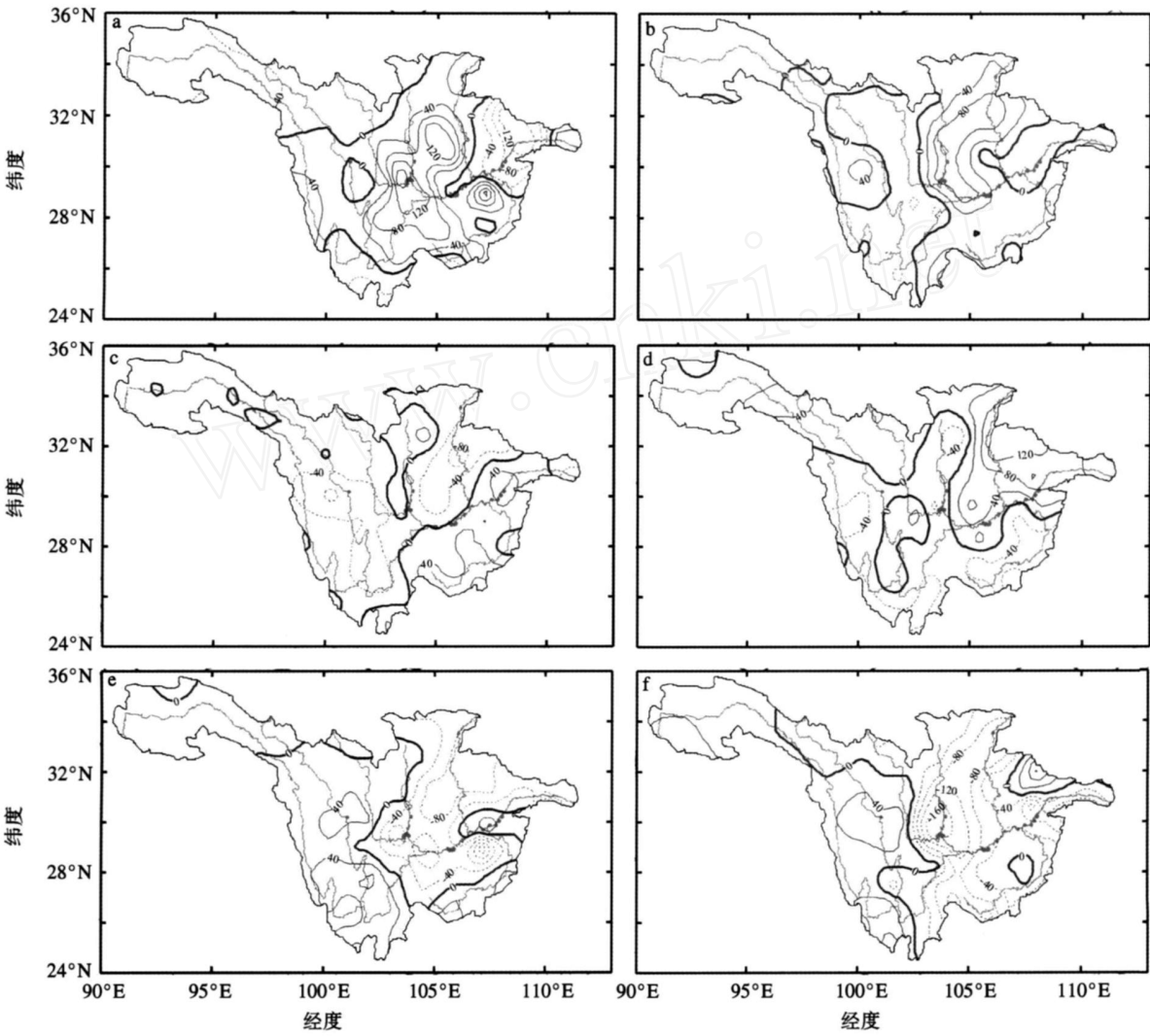


图 2 长江上游流域各年代降水距平的分布 (单位: mm)
a 20 世纪 50 年代; b 20 世纪 60 年代; c 20 世纪 70 年代; d 20 世纪 80 年代; e 20 世纪 90 年代; f 21 世纪初
Fig 2 Interdecadal distributions of precipitation anomaly(mm) in the upper reaches of Yangtze River
in (a) 1950 s, (b) 1960 s, (c) 1970 s, (d) 1980 s, (e) 1990 s, and (f) the beginning of 21 th century

日最高气温有显著的正相关关系, 相关系数分别为 0.49 和 0.57, 通过了 0.05 的显著性水平检验, I_{NDV} 与同期日最低气温关系不显著 (图 7a)。李本纲等^[15]分析了我国的 I_{NDV} 与气温和降水的相关关系, 指出我国大部分地区气温对植被生长的影响超过降水的影响, 这里的结论与其是一致的, 但这里选取的时间相对更长, 显示了长江上游流域植被生长主要还是受气温的影响。即, 在降水相对丰富的上游区域, 降水量足以保证植被生长的需水量, 在这种情况下植被的变化与降水量的关系不密切; 平均气温以及日最高气温与植被生长有显著正相关, 可能意味着日最高气温和日平均气温的升高有利于植被的生长。尽管长江上游降水量与植被覆盖的关系不密

切, 考虑到长江上游降水强度的明显变化, 那么不同强度降水的天数是否与 I_{NDV} 存在相关关系? 为此, 统计每年不同强度降水天数, 与 I_{NDV} 求相关。结果显示, 6—9 月相关关系略好, 但也不显著, 尽管 6—9 月的 I_{NDV} 变化与同期弱降水天数和中等强度降水天数为负相关 (相关系数分别为 -0.43 和 -0.25), 与强降水为正相关 (相关系数为 0.15), 但是只有弱降水天数与 I_{NDV} 的关系通过 0.1 的显著性水平检验 (图 7b), 其相关关系在 80 年代相对 90 年代要略好一些。 I_{NDV} 与降水强度的相关性总体较弱可能是因为降水强度还受到水汽输送、风切变、大气环流配置等多种因子的影响。尽管如此, I_{NDV} 与降水强度的这种相关关系可能意味着, 植被覆盖

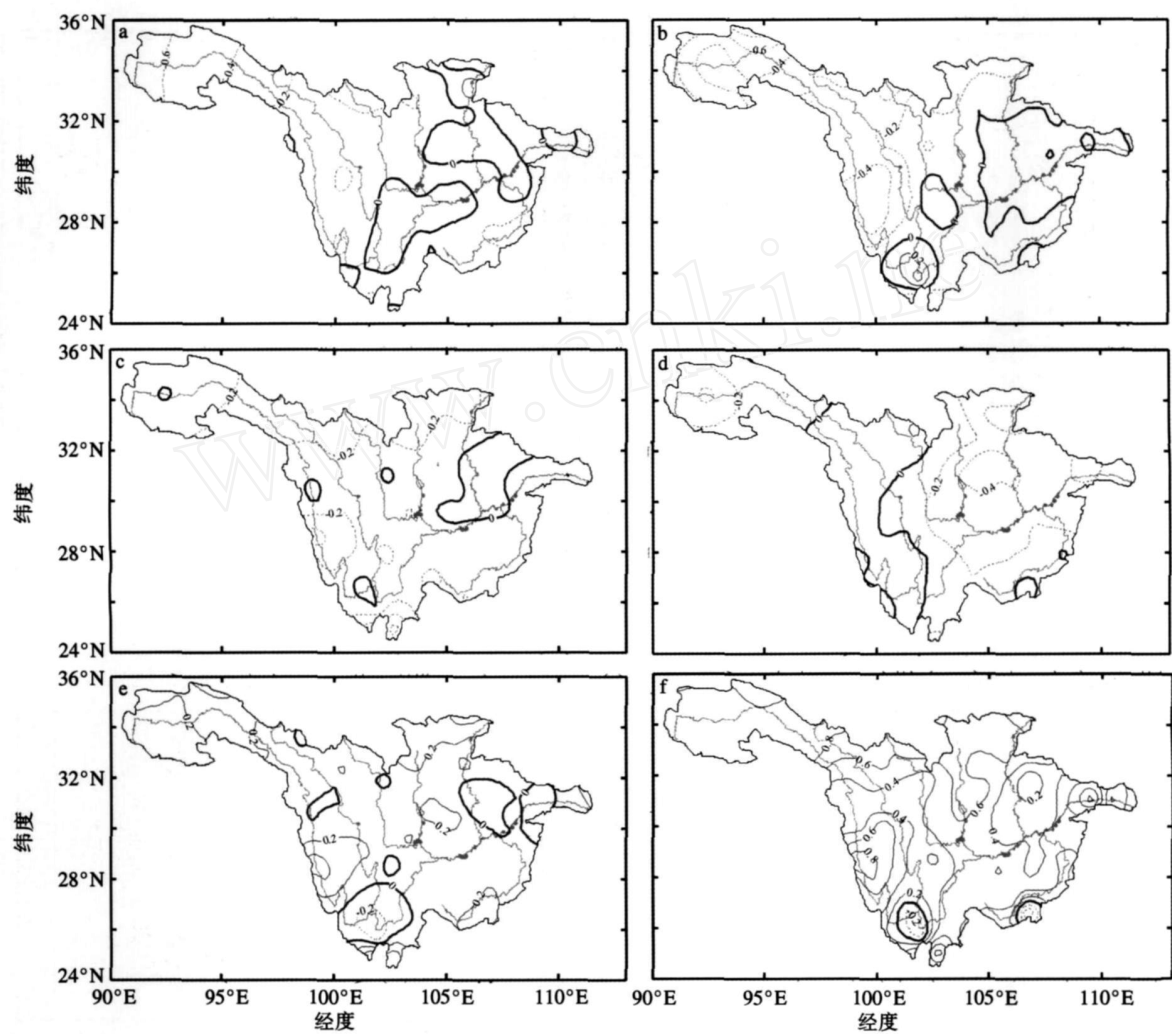


图 3 长江上游流域各年代气温距平的分布 (单位: $^{\circ}\text{C}$)
a 20 世纪 50 年代; b 20 世纪 60 年代; c 20 世纪 70 年代; d 20 世纪 80 年代; e 20 世纪 90 年代; f 21 世纪初
Fig 3 Interdecadal distributions of air temperature anomaly($^{\circ}\text{C}$) in the upper reaches of Yangtze River
in (a) 1950s, (b) 1960s, (c) 1970s, (d) 1980s, (e) 1990s, and (f) the beginning of 21th century

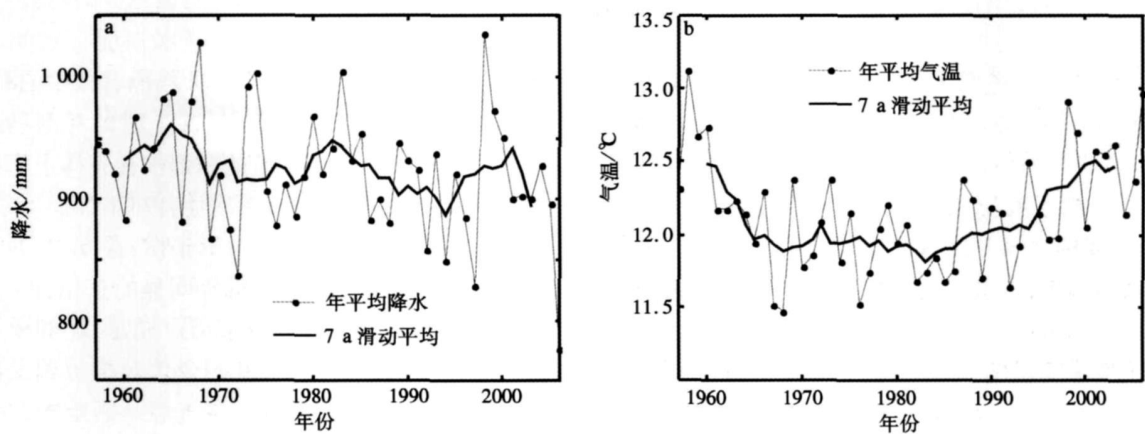


图 4 长江上游流域平均的年平均降水 (a; mm)和气温 (b; $^{\circ}\text{C}$)的年际变化
Fig 4 Interannual variations of (a) precipitation(mm)
and (b) air temperature($^{\circ}\text{C}$) averaged in the upper reaches of Yangtze River

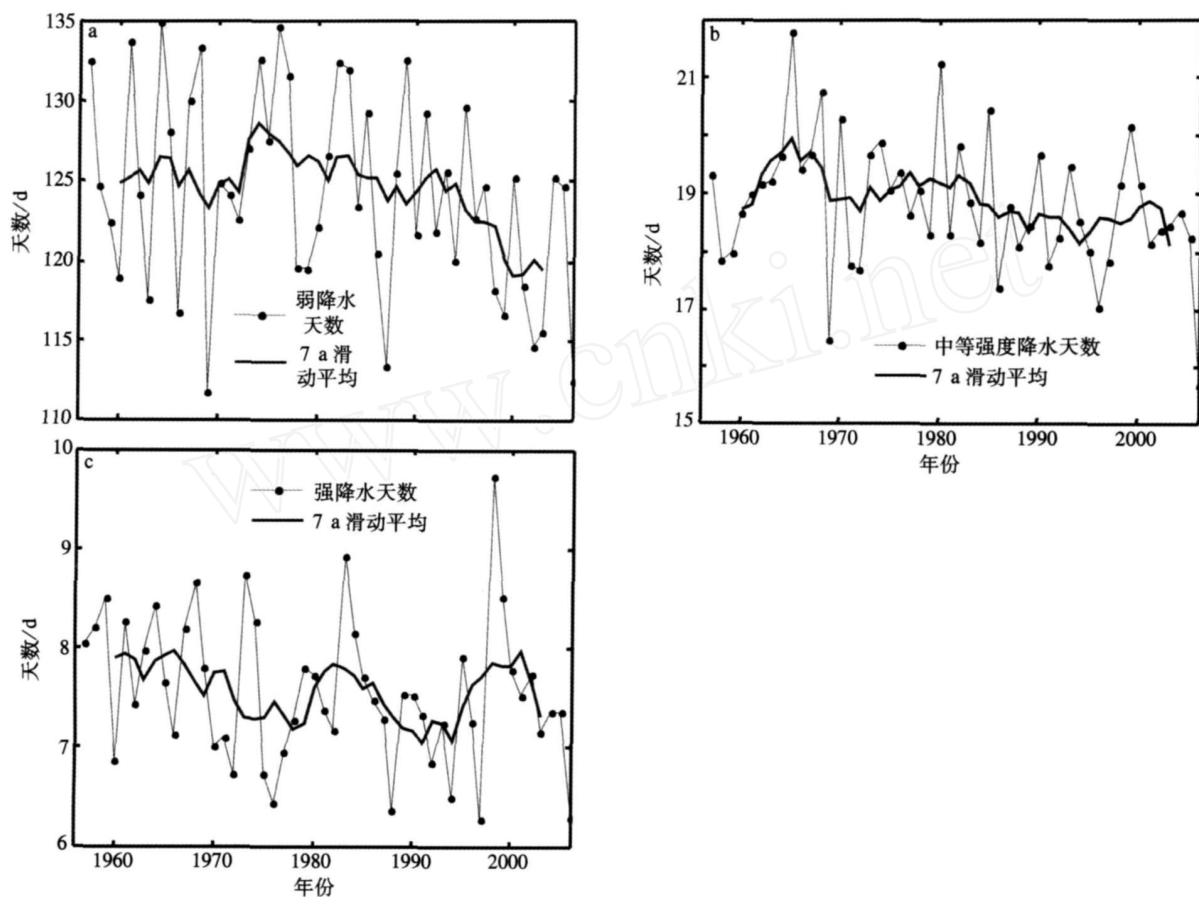


图 5 弱 (a)、中等强度 (b) 和强 (c) 降水天数的年际变化

Fig 5 Interannual variations of days of (a) weak, (b) middle and (c) strong precipitation

的变化一定程度上能够影响局地的降水,植被退化会抑制降水,使得降水强度减弱;而植被活动性增加则有利于降水强度增加。植被覆盖与降水强度之间的这种关系值得进一步研究。

以上分析指出,气温在 20 世纪 80 年代中期后明显上升,气温的增加可能使得蒸发能力也上升。然而,目前的一些分析指出,长江上游参考蒸发量^[11]和 20 cm 蒸发皿观测的蒸发^[16]都呈减少趋势。这意味着,长江上游蒸发的变化可能还受到日照、风速等的影响。因此,在长江上游,气候对径流的影响,可能主要还是与降水量和降水强度有关。考虑到 90 年代后长江上游中部和东北部的降水偏少,以及植被变化,它们的变化将会对地表截留和水文的分配产生重要影响^[17]。关于气候变化和植被覆盖的相互关系如何影响长江上游的水文过程,还需要通过数值模式进一步研究。

4 结论

长江上游降水在 20 世纪 50 年代和 60 年代整

体上偏多,70 年代在流域的东北部略偏少,80 年代在流域东北部偏多,90 年代后在上游的中部和东北部偏少;气温自 80 年代中期后呈现出上升的趋势,在上游西北部气温上升更显著。从各季节的变化来看,秋季降水量在近几十年有明显减少的趋势;冬季温度上升较其他季节明显。降水强度存在年际变化,弱降水和中等强度降水的天数都有减少的趋势。

植被覆盖在源头区较低,在上游的北部马尔康至武都一带较好。在上游的东部植被整体上有明显的退化;在西部区域植被活动性有所增加。

I_{NDV} 与降水的相关关系不密切,在 6—8 月 I_{NDV} 与日平均气温和日最高气温为明显的正相关。这可能意味着,在长江上游,降水相对充足,能够保证植被生长的用水需求,降水量的变化对植被覆盖的影响很小;平均温度以及日最高气温是影响植被生长的一个重要因子,较高的温度有利于植被的生长。 I_{NDV} 与降水强度之间的相关关系较弱,只是与弱降水天数之间的负相关通过 0.1 的显著性水平检验。关于长江上游气候变化与植被覆盖之间的相互关系

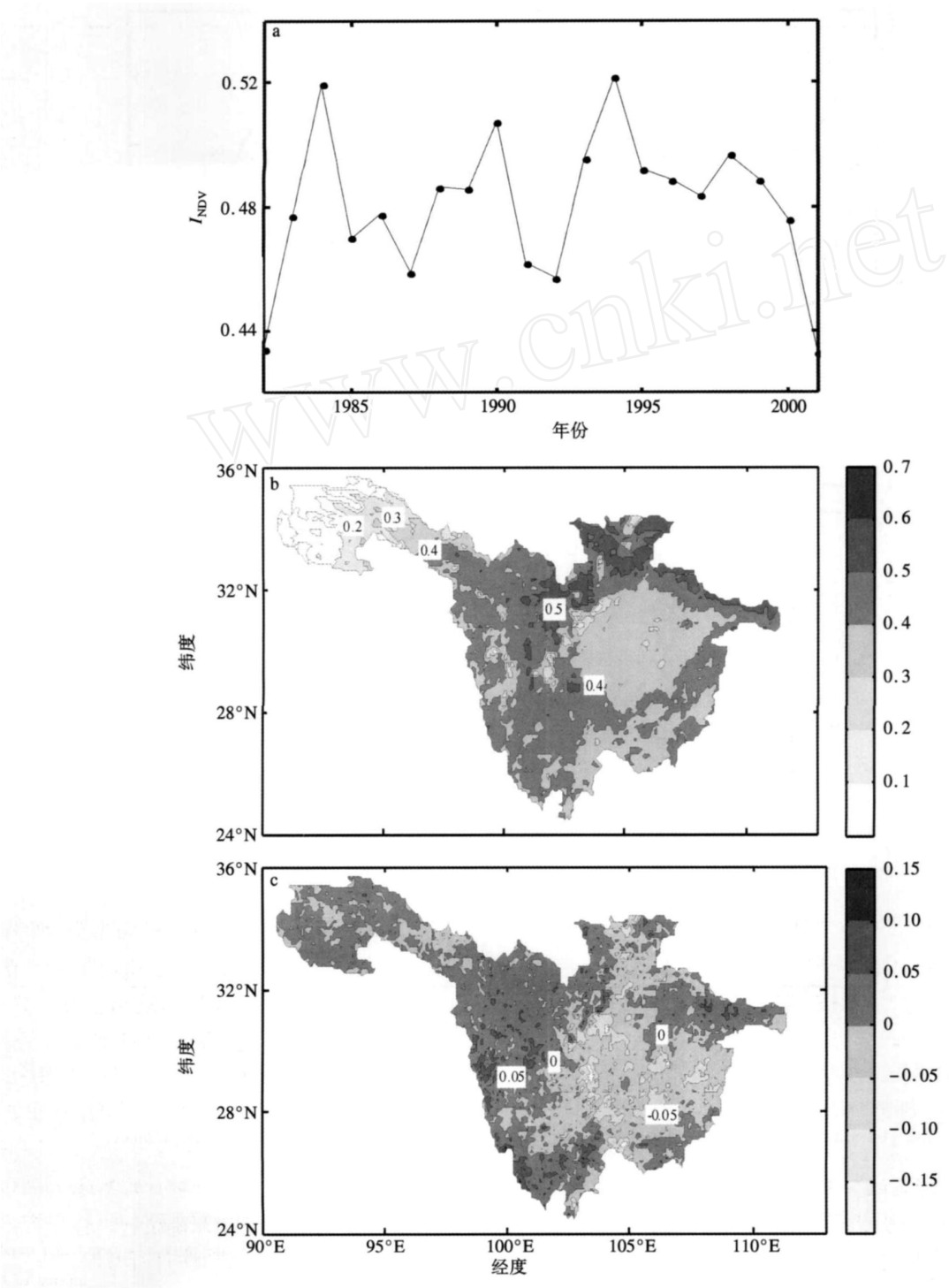


图 6 长江上游区域平均的 I_{NDV} 在 1982—2001 年的变化 (a) 和近 20 a 平均 I_{NDV} 的区域分布 (b) 以及 1997—2001 年平均 I_{NDV} 相对 1982—1986 年平均 I_{NDV} 的变化 (c)

Fig 6 (a) Variation of regional mean NDVI from 1982 to 2001, (b) regional distribution of mean NDVI in recent 20 years, and (c) regional difference distribution of mean NDVI in 1997—2001 relative to that in 1982—1986 in the upper reaches of Yangtze River

以及对水文径流的影响,将在以后的工作中通过数值模式做进一步研究。

参考文献:

[1] 张海霞,周伟灿,黄昌兴. 长江流域不同区域暴雨发生机理的比较研究 [J]. 南京气象学院学报, 2002, 25 (1): 21-27.

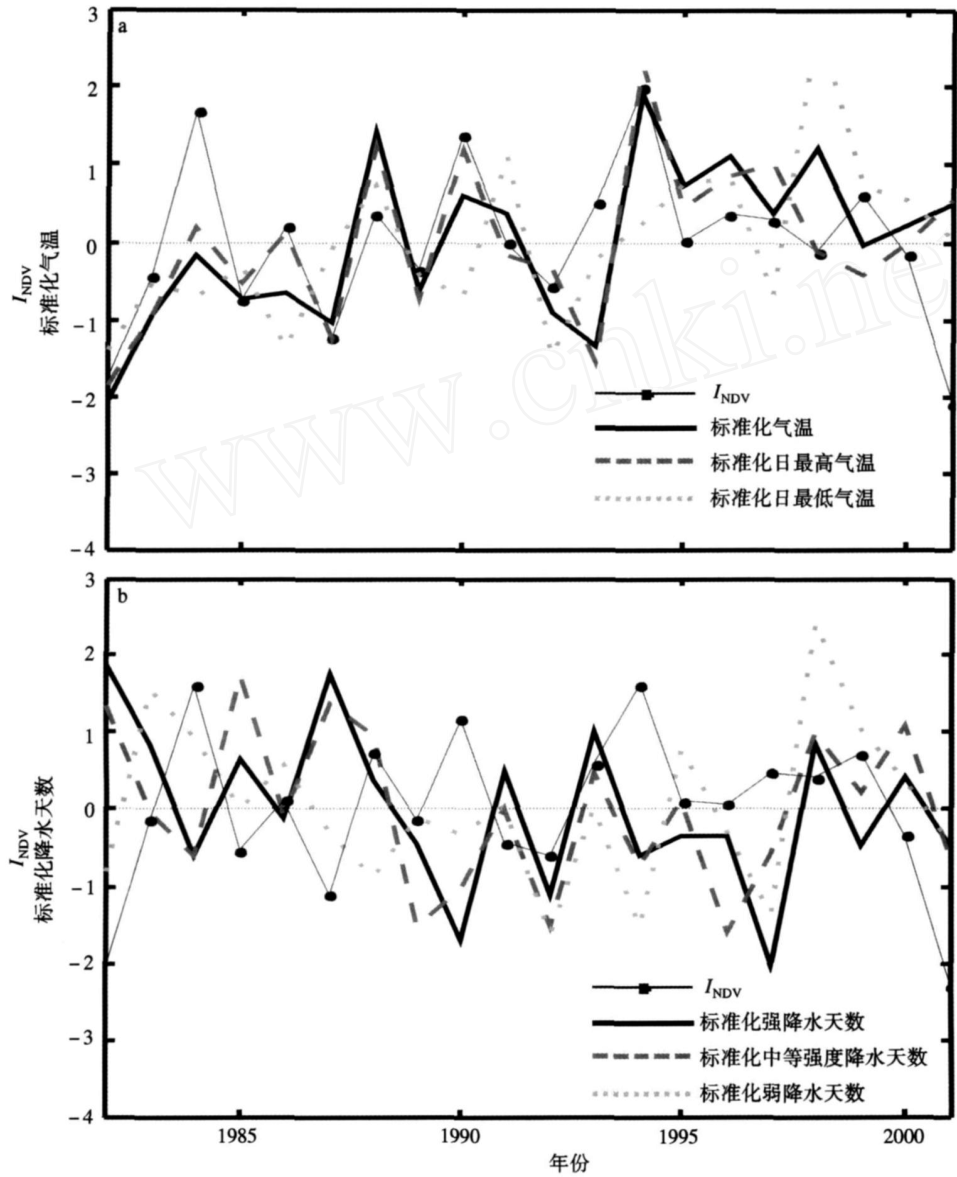


图 7 标准化 6—8 月 I_{NDV} 与标准化气温 (a) 以及标准化 6—9 月 I_{NDV} 与标准化的不同强度降水天数 (b) 的年际变化

Fig 7 Interannual variations of (a) normalized NDVI and normalized air temperature from June to August, and (b) normalized NDVI and the days of different precipitation intensity from June to September

[2] 王建新,吕君宁,石永贵. 长江中上游地区汛期降水的准两年震荡[J]. 南京气象学院学报, 1995, 18(2): 229-233.

[3] 韩添丁,叶柏生,丁永建. 近 40 a 来黄河上游径流变化特征研究[J]. 干旱区地理, 2004, 27(4): 553-557.

[4] 李林,王振宇,秦宁生,等. 长江上游径流量变化及其与影响因素关系分析[J]. 自然资源学报, 2004, 11(6): 694-700.

[5] 王渺林. 长江上游流域径流变化[J]. 水土保持研究, 2007, 14(5): 110-112.

[6] 周德刚,黄荣辉. 黄河源区径流减少的原因探讨[J]. 气候与环境研究, 2006, 11(3): 302-309.

[7] 蓝永超,丁永建,沈永平,等. 气候变化对黄河上游水资源系统影响的研究进展[J]. 气候变化研究进展, 2005, 1(3): 122-125.

[8] Zhang Q, Jiang T, Gemmer M, et al Precipitation, temperature and runoff analysis from 1950 to 2002 in the Yangtze basin, China[J]. Hydrological Sciences Journal, 2005, 50(1): 62-80.

[9] Su B D, Jiang T, Shi Y F, et al Observed precipitation trends in the Yangtze River Basin from 1951—2002[J]. Journal of Geographical Science, 2004, 14(2): 204-218.

[10] 孙琪,周锁铨,康娜,等. 基于 GIS 的长江中上游降水的空间分布[J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(2): 201-209.

[11] 王艳君,姜彤,施雅风. 长江上游流域 1961—2000 年气候及径流变化趋势[J]. 冰川冻土, 2005, 27(5): 709-714.

[12] 伍星,沈珍瑶,刘瑞民. 长江上游土地利用 覆被变化特征及其驱动力分析[J]. 北京师范大学学报:自然科学版, 2007, 43(4): 461-465.

[13] Yang J P, Ding Y J, Chen R S Spatial and temporal of variations of alpine vegetation cover in the source regions of the Yangtze and

- Yellow Rivers of the Tibetan Plateau from 1982 to 2001 [J]. Environmental Geology, 2006, 50 (3): 313-322.
- [14] Piao S L, Fang J Y, Zhou L M, et al. Interannual variations of monthly and seasonly normalized difference vegetation index (NDVI) in China from 1982 to 1999 [J]. J. Geophys Res, 2003, 108 (D14), doi: 10. 1029/2002JD002848.
- [15] 李本纲,陶澍. AVHRR NDVI 与气候因子的相关分析 [J]. 生态学报, 2000, 20 (5): 898-902.
- [16] 王艳君,姜彤,许崇育. 长江流域 20 cm 蒸发皿蒸发量的时空变化 [J]. 水科学进展, 2006, 17 (6): 830-833.
- [17] Dunne T, Zhang W H, Aubry B F. Effects of rainfall, vegetation, and microtopography on infiltration and runoff [J]. Water Resour Res, 1991, 27 (9): 2271-2285.

(责任编辑:张福颖)

www.cnki.net