

中国近代北方极端干湿事件的演变规律

马柱国¹, 华丽娟^{2,1}, 任小波¹

(1. 中国科学院东亚区域气候 - 环境重点实验室, 中国科学院大气物理研究所东亚中心, 北京 100029;

2. 中国海洋大学海洋环境学院海洋气象系, 青岛 266003)

摘要: 利用中国 1951~2000 年的月降水和月平均气温构造了一个适合于研究我国北方地区地表干湿状况的地表湿润指数, 以此为基础对我国北方地区极端干旱的分布特征进行深入研究。结果指出: 在东北和华北地区, 近 10 年极端干旱频率显著增加, 是近百年少有的大范围高强度的极端干旱频发期, 而这些地区极端湿润发生的频率相对减少。和温度变化趋势比较发现, 极端干旱的频发区往往对应增温明显的地区。

关 键 词: 降水; 气温; 地表湿润指数; 气候; 极端干旱; 中国

中图分类号: P426.614

1 引言

干旱化研究是个古老但具有挑战性的科学问题。目前为止, 人们对其的演变规律和形成机制还不甚清楚。从环境的角度来讲, 干旱是当前全球最严重的灾害之一^[1], 随时危及着我们的生存环境。所以, 对于干旱化问题的研究历来都是科学界的热门课题。

干旱本质上是指陆地表面土壤的缺水过程, 而陆地表面干湿变化主要受降水和蒸发的影响^[2], 因此, 干旱问题就归结为研究降水和蒸发收支大小的问题。所以, 我们要研究干旱的特征及其机制需要综合考虑降水 (入) 和蒸发 (出) 两个方面。以前的工作在研究陆地地表干湿状况时把降水作为唯一的因素进行研究, 仅考虑了其中的一个方面, 尽管能反映干旱的某些特征, 但难以客观全面的体现干旱的特征。如在某些地区, 尽管降水增加的, 但由于增暖所引起地表蒸发的增加量远大于降水的增加量, 地表的水分收支仍然为负, 在这种背景下这个地区仍然处于干旱化的状态, 在冷干 (温度降低和降水减少) 的气候态下同样存在类似的问题。因此, 降水量的多寡难以描述地表的干湿程度。

极端干旱由于其更大的危害性近年来广泛受到关注。在中国北方, 特别是在东北和华北, 干旱化是当前所面临最严重的环境问题, 干旱导致了可利用水资源的严重匮乏。因此, 对北方地区极端干旱发生频率和强度的变化的研究具有很重要的意义。

过去的一些工作从极端降水的变化部分的说明了中国地区极端干湿的一些变化特征, 得出了一些有意义的结果, 例如, 严中伟等^[3]指出, 中国北方地区毛毛雨的减少是大气环境干旱化的一个事实; Zhai 等^[4]也指出了中国极端降水的变化趋势, 但这些结果是在没有考虑温度升高背景下的变化趋势。本研究拟利用月降水和月平均气温构造一个能够表征地表干湿状况的湿润指数, 通过分析湿润指数的变化来揭示近 100 年来北方地区极端干旱发生的频率及变化的事实。

收稿日期: 2003-04-08; 修订日期: 2003-09-23

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目 (G1999043405); 中国科学院知识创新工程重大项目 (KZCX1-10-07)

[Foundation Item: National Key Planning Development for Basic Research, No.G1999043400; Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences, No.KZCX1-10-07]

作者简介: 马柱国 (1963-) 男, 副研究员, 主要从事气候变化研究。E-mail: mazg@tea.ac.cn

2 资料和方法

资料是由中国气象局整编的 1951~2000 年全国 160 站月降水和月平均气温资料，近百年资料来自美国能源部和中国科学院合作整编的月降水和月均温资料^[5] 并增加了 1988 年以后的资料。文中所用的湿润指数由 Humle^[6]提出，定义为：

$$H = \frac{P}{P_e}$$

(1)

其中 H 为月湿润指数， P 为月降水， P_e 为最大潜在蒸发。对 P_e 的计算采用 Thornthwaite 的方法^[7]，这个方法的优点就是既考虑了地表能量对蒸发力的影响，又计算方便，避免了过多参数的使用而导致所计算的潜在蒸发力的不确定性，这个参数曾经被用于全球或区域尺度的地表湿润状况的分析，揭示了一些有意义的事实^[6, 8]。本文中，把中国北方主要的干旱区分为四个分区(图 1)，通过对各个分区区域平均的特征分析来了解几个典型干旱区不同年代极端干旱事件频率的变化。极端干旱定义为 H 的标准化变量小于等于 -0.5，大于或等于 0.5 定义为极端湿润。本文采用的趋势检验方法是 Mann-Kendall (简称 M-K 法) 方法，该方法已有许多文献进行过详细介绍^[9, 10]，在此不再赘述。

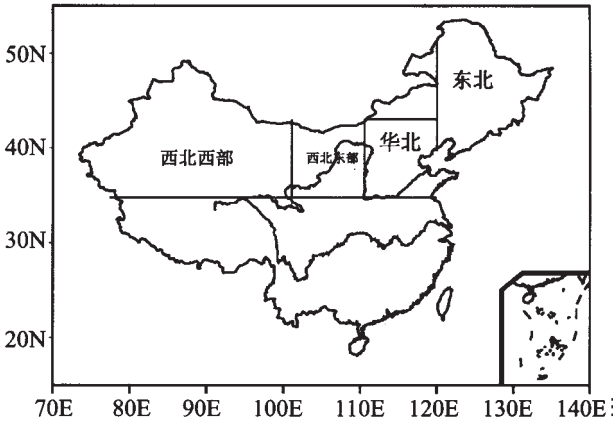


图 1 分区示意图

Fig. 1 The diagram of sub-areas for the study

3 结果分析

3.1 干旱频率变化趋势的空间分布

图 2 是近 1951~2000 年极端干、湿事件发生频率的空间变化趋势，极端频率统计的方法是：首先计算逐个月份 H 的标准化变量，然后分别计算每一年月 H 的标准化变量大

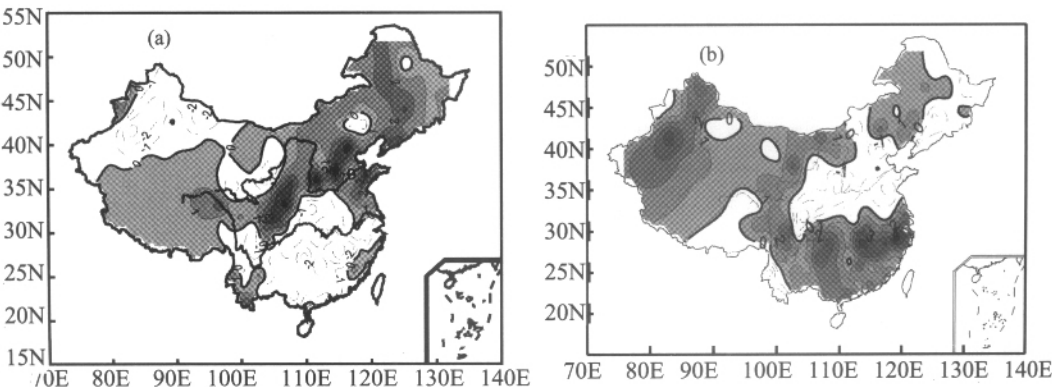


图 2 中国 1951~2000 年极端干、湿频率的变化趋势 (M-K 法)
(a: 极端干, b: 极端湿; 阴影区为频率大于 4/10yr 的地区)

Fig. 2 Trend of extreme dry/wet frequencies in China from 1951 to 2000

于 0.5 或小于 -0.5 的次数就作为该年极端干或湿发生的频率。从图 2a 可以看出，华北、东北和西北的东部，极端干旱的频率具有明显的增加趋势，西北西部，主要是在新疆的北部，极端干旱的频率明显减少。所强调的是，黄河流域除小部分地区外，绝大多数地区极端干旱的频率都为增加的趋势。这可能是黄河近年来少水断流的一个重要原因。分析图 2b 发现，在北方地区，极端湿频率增加的地方基本对应极端干旱减少的区域，极端湿频率减少的地方对应极端干增加的区域。但有例外的地方有两处，一个东北的西部，另一在河套地区，也就是说，在这两个地区，极端干湿事件发生频率的总数为增加的趋势，这种异常特征形成的原因尚需进一步研究。另外，从图 2 还可以发现，对整个中国，南方与北方极端事件发生频率的变化趋势相反；在东西方向，以 100°E 为界，分布特征也相反，这可能与我国特殊的地理环境有关，由于西部资料较少，这个特征还需要通过资料的完善进一步验证。

从平均湿润指数的变化趋势可以看出 (图 3)，除东北的西部外，其它区域极端干旱频率增加的地区均为干旱区。这说明，在北方大多数地区，极端干旱在干旱的形成和维持上占有主导作用。而在东北西部这个特殊的地区，由于极端干和极端湿事件都有增加的趋势，这个地区的干湿状况既受到极端干事件发生频率的影响，又受到极端湿事件的影响。所以，在这个特定地区，仅用极端湿 (干) 的频率变化趋势来确定这个地区的变湿 (干) 趋势是不客观的。然而，在极端干 (湿) 频率增加 (减少) 的区域，可以断定该区地表状况将变干 (变湿)。通过以上分析，可以认为在北方地区，35°N 以北、100°E 以东地区，近 50 年来极端干旱频率具有明显的增加趋势，而极端湿事件增加的区域仅出现在东北西部的部分地区。

3.2 年极端干湿事件频率的变化规律

图 4 为不同年代极端干旱事件发生频率的统计，具体的作法是，首先计算年湿润指数 $H_{年}$ ，然后计算年出湿润指数的标准化变量 D_H ，如果 $D_H \geq 0.5$ 记为该年为一次极端湿，反之， $D_H \leq -0.5$ 记为一次极端干旱年，进一步统计每 10 年发生的极端干和极端湿发生的次数。从图 4 可以看出，在 1970's 以前，大范围极端干旱频率的高发区主要分布在我国西北地区。1950's 年代主要分布在新疆的中北部；1960's 高频区在新疆的西部和内蒙、甘肃和宁夏的交界区域，华北和东北地区极端干旱发生的次数较少。在 1970's 代，极端干旱频率的高发区主要在新疆北部和东北的东部；1980's 年代，北方地区基本都为极端干旱的少发时段，只有少部分地区极端干旱发生的频率较高，而极端干旱的高发区主要分布在华南和西南地区。值得注意的是，1990's 代以后，在华北和东北地区干旱频率较其它年代高，而这些极端干旱高频率区正好和干旱化的趋势吻合 (图 3)。同时，分析极端湿频率发生的地理分布发现，各年代没有大范围的极端湿频率的高发区出现。

图 5 为 4 个不同分区 (图 1) 区域平均各年代的时间演变规律。从图可以看出，东北地区在 1990's 年代以后极端干旱频率急据增加，而 1980's 年代是近 50 年干旱频率最少的 10 年，1970's 年代是第二个高频率干旱年代；华北地区极端干旱发生频次最少的年代在 1960's，以后极端干旱发生频率逐年代增加，1990's 年代是极端干旱发生最多的年代。

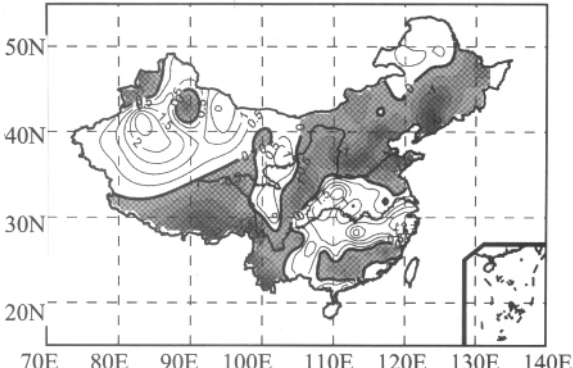


图 3 1951~2000 年中国平均湿润指数的变化趋势
(阴影区为变干，其它为变湿)

Fig. 3 The trend of annual mean humid index in China from 1951 to 2000 (There are drying trend in shaded areas, and wetting trend in other areas)

与前两个地区相反的是，西北地区极端干旱发生频率没有增加的趋势，近几十年反而有一个下降的趋势。和极端干旱发生的频率相对应，极端湿事件发生的频率在东北和华北为减少的趋势，而西部地区极端湿的频率有增加的迹象。还可以看出，极端干湿发生的频率呈现一个叠加在趋势变化上的大约 20 年的周期变化，由于资料的序列太短，这种周期变化的检测需要在更长的时间序列上进行验证。从北方各代表站不同年代极端干旱频率发生的统计可以看出 (表 1)，如果把每 10 年发生 4 次极端干旱看作极端干旱年代，那么东北、华北和西北东部 1990's 均为极端干旱年代，而且最近 10 年也是近代极端干旱发生范围最大的时段，其中华北这个时段所发生的极端干旱频率最大且开始于 1980's；和历史上比较，华北地区在 20 世纪 10's~40's 曾经是极端干旱高发时段，但其所波及的范围远不如 1990's。分析极端干旱频率的变化规律发现，华北地区极端干旱频发的持续时间大约为 30~40 年，如果按此推算，在近 20 年的时间里，华北地区仍然处于一个极端干旱频发的时期。西北的东部地区在 1990's 也处在一个极端干旱的频发时段，但强度不及华北地区；西北西部近 20 年绝大多数站点极端干旱频率都小于 4，没有达到极端干旱的年代，这也说明最近 20 年我国北方东西部 (以 100°E 为界) 极端干旱发生频率的表现特征是不一致的。

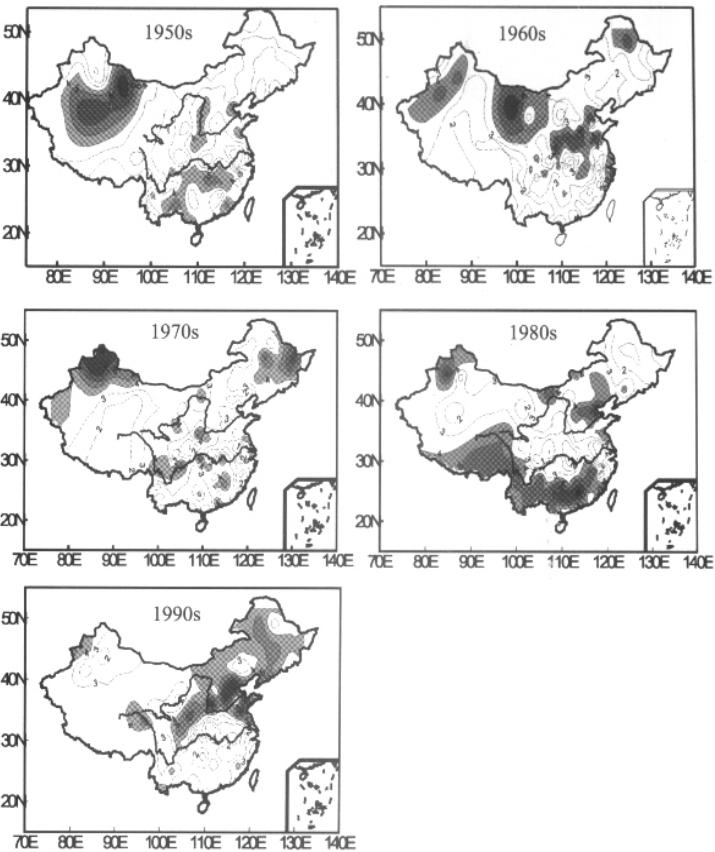


图 4 中国不同年代极端干旱频率的地理分布
(阴影区为干旱频率大于 4 次 /10yr)

Fig. 4 The geographic distribution of extreme drought frequency in China in different decades (Note: more than 4/10yr in shaded areas)

曾经是极端干旱高发时段，但其所波及的范围远不如 1990's。分析极端干旱频率的变化规律发现，华北地区极端干旱频发的持续时间大约为 30~40 年，如果按此推算，在近 20 年的时间里，华北地区仍然处于一个极端干旱频发的时期。西北的东部地区在 1990's 也处在一个极端干旱的频发时段，但强度不及华北地区；西北西部近 20 年绝大多数站点极端干旱频率都小于 4，没有达到极端干旱的年代，这也说明最近 20 年我国北方东西部 (以 100°E 为界) 极端干旱发生频率的表现特征是不一致的。

4 总结与讨论

本文利用湿润指数对我国北方地区近代极端干、湿发生频率的变化规律进行了深入的研究。通过分析可初步得出以下结论：

- (1) 在我国东北和华北大部分地区，极端干旱发生的频率在近 10 年来具有增加的趋势，而极端湿润所发生的频率明显减少，其中华北地区 1980s 年代以后处于一个极端干旱的高频率时段。对照我国近代的温度变化^[1]发现，这些地区均为增暖比较明显的地区，那么，极端干旱频率增加是否与区域增暖有关？它们的相互联系需要进一步的研究。
- (2) 在极端干旱频率增加的地区，一般对应极端湿润频率减小的趋势，同时，极端干旱发生的高频率区对应着该地区的干旱化趋势。而东北西部却是一个特例，该地区在近

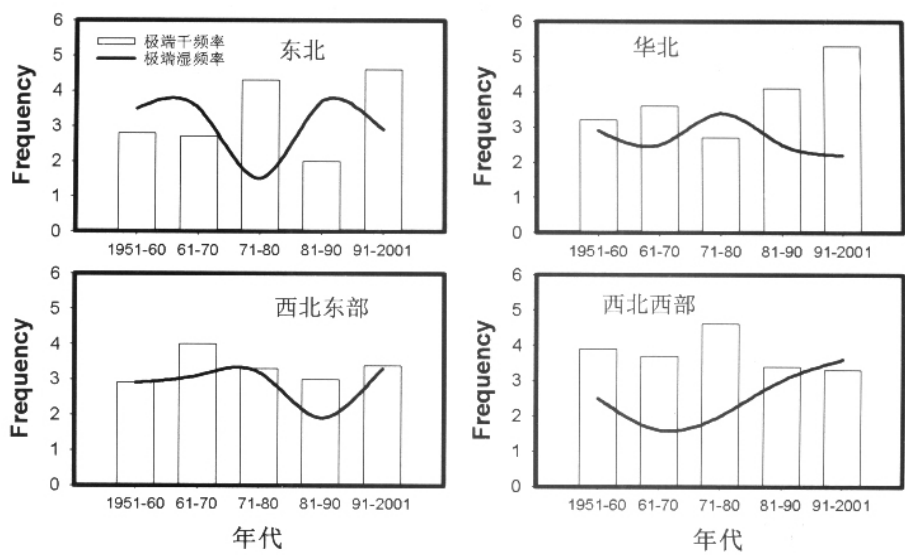


图 5 中国不区域平均不同年代极端干湿发生的频率

Fig. 5 Variation of regional mean of extreme dry/wet frequency in different sub-areas
(a: Northeast China; b: central part of North China; c: east part of Northwest China; d: west part of Northwest China)

表 1 中国北方近代不同年代极端干旱发生频率的统计表 (注：阴影区表示极端干旱的年代)

Tab. 1 Statistics of extreme drought in North China in different decades in the last 100 years
(Note: shade column mean extreme dry decade)

		1910s	1920s	1930s	1940s	1950s	1960s	1970s	1980s	1990s
东	海拉尔	7	6	3	2	1	3	1	2	4
	博克图		6	0	0	4	4	2	1	6
	齐齐哈尔			4	1	4	2	6	1	5
北	哈尔滨	4	4	1	4	2	4	6	1	5
	长春	4	2	2	3	3	2	4	3	6
	沈阳	4	2	2	1	1	3	4	4	5
华北	北京	4	6	5	5	3	3	2	4	7
	天津	4	2	9	7	4	5	2	6	7
	保定		6	4	5	7	3	5	4	6
西北	烟台	4	6	6	2	3	3	2	2	6
	天水				4	2	3	3	4	5
	西安			6	6	3	5	1	2	4
东部	汉中				6	3	2	0	0	5
	银川				1	2	6	4	2	3
	乌鲁木齐	0	0	0	6	1	7	6	1	2
西部	哈密					7	3	4	3	2
	酒泉				2	4	6	3	3	4
	张掖				0	2	5	2	2	3
	兰州				0	4	6	5	3	1

注：阴影区表示极端干旱的年代 (Note: shaded column mean extreme dry decade)

10年来极端干旱和极端湿润发生的频率均为增加的趋势，平均变化为湿的趋势。所以，在研究干旱化问题时，对于这些特定地区，如果仅研究干湿的平均变化，就难以发现某些干旱化的事实 (如在该地区的极端干旱事件的增加)。近 10 年我国北方地区的大范围极端干旱频发是近 100 年来最严重的极端干旱频发时段。

本文所得出的结果是我国北方极端干湿频率变化规律研究的初步结果，随着资料的不断补充和改善，分析结果将不断深入。需要指出的是，在我国西部地区，由于资料的缺乏，本文中有关西部地区的分析结果还有待于进一步的验证。

参考文献 (References)

- [1] Ye Duzheng, Huang Ronghui. Rules and Causes of Drought/Floods in Yangtse River and Yellow River. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 1992. 1-2. [叶笃正, 黄荣辉 著. 长江黄河流域旱涝规律和成因研究. 济南: 山东科学技术出版社, 1992. 1-2.]
- [2] Manabe S. Summer dryness due to an increase of atmospheric CO₂ concentration. *Clim. Change*, 1981, 3: 347-386.
- [3] Hulme M, Marsh R, Jones P D. Global changes in a humidity index between 1931-60 and 1961-90. *Clim. Res.*, 1992, 2: 1-22.
- [4] Ma Zhuguo, Fu Congbin. Trend of surface humid index in the arid area of northern China. *Acta Mete. Sinica*, 2001, 59 (3): 737-746. [马柱国, 符淙斌. 中国北方地表湿润状况的年际变化趋势. *气象学报*, 2001, 59(6): 737-746.]
- [5] Tao S, Fu C, Zeng Z et al. Two long-term instrumental climatic data bases of the People's Republic of China. Prepared by D P Kaiser, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A.
- [6] Ma Zhuguo. The relationship between the soil moisture and climatic variability over East China and a model used for retrieving soil moisture. Ph.D Dissertation, Institute of Atmospheric Physics in Chinese Academy of Sciences, 1999. 121. [马柱国. 中国东部土壤湿度和气候变率的关系及其一个土壤湿度反演模式的建立. 中国科学院大气物理研究所博士论文, 1999. 121pp]
- [7] Yan Zhongwei, Yang Chi. Geographic patterns of extreme climate changes in China during 1951-1997. *Climatic and Environmental Research*, 2000, 5(3): 267-272. [严中伟, 杨赤. 近几十年中国极端气候变化格局. *气候与环境研究*, 2000, 5(3): 267-272.]
- [8] Zhai Panmao, Sun Anjian, Ren Fumin et al. Changes of climate extremes in China. *Climatic Change*, 1999, 42: 203-218.
- [9] Cheng Wenhai, Liu Yanxiang, Ma Zhuguo. The seasonal characteristics of climatic change trend in China from 1951 to 1997. *Plateau Mete.*, 2002, 21(3): 251-257. [陈文海, 柳艳香, 马柱国. 中国 1951-1997 年气候变化趋势的季节特征. *高原气象*, 2002, 21(3): 251-257.]
- [10] Ma Zhuguo, Wei Helin, Fu Congbin. Relationship between regional soil moisture variation and climatic variability over East China. *Acta Mete. Sinica*, 2000, 58(3): 278-287. [马柱国, 魏和林, 符淙斌. 中国东部区域土壤湿度的变化及其与气候变率的关系. *气象学报*, 2000, 58(3): 278-287.]
- [11] Snyers R. On the statistical analysis of series of observations. Technical Note, 143, WMO, Geneva, 1990, 11.

The Extreme Dry/Wet Events in Northern China During Recent 100 Years

MA Zhuguo¹, HUA Lijuan^{2,1}, REN Xiaobo¹

(1. Chinese Academy of Sciences Key Laboratory of Regional Climate-Environment Research for Temperate East Asia, START Regional Center for East Asia, Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing 100029, China;

2. Department of Oceanic Atmosphere, The Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: Using monthly precipitation and monthly mean temperature, a surface humid index was suggested. According to the index, the distribution characteristics of extreme dryness has been deeply analyzed. The results indicated that there is an obvious increasing trend of extreme dryness in the central part of North China and Northeast China in the last 10 years, which is a high frequent period of extreme dryness; and a low frequent period in the regions during the last 100 years. To compare with variation trend of the temperature in these regions, the high frequent extreme dryness region is consistent with the warming trend in the same region.

Key words: monthly precipitation; air temperature; surface humid index; climate; extreme