

近30年来中国气候的干湿变化

张庆云 陈烈庭

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文利用1951—1980年的月平均温度,计算了中国各地水分需要量。根据水分需要量和降水量大小,将我国划分成潮湿、湿润、半湿润、半干燥和干燥5类气候区;并对这5个气候区1950年前后各30年时段的气候干湿状况进行讨论;此外还对影响气候干湿变化的重要因子,我国近30年来的降水进行了分析。

近30多年来,各气候区的降水及气候状况呈现了不同的变化:潮湿和湿润气候区50年代降水较多,60年代降水偏少,70年代降水呈多变态;半湿润和半干燥气候区50年代至60年代中期为多雨时段,1965年始,降水偏少,处于少雨阶段,干旱发展;干燥气候区50年代初降水略偏多,50年代中期至70年代初降水偏少,从1973年至1984年,降水又略有增多。

另外,我国半湿润、半干燥气候区的降水趋势,多年来与非洲地区的降水有相似之处,特别是近20年来,都出现了降水持续偏少的现象,干旱发展,但我国半干燥、半湿润区的干旱程度还没像非洲干旱现象那么严重。

关键词: 最大可能蒸发量;湿润度指数;相对变率;年际变化。

一、引 言

60年代以来,世界许多地方气候异常频繁出现,如1969年开始的萨赫勒(Sahel)地区的持续性干旱,1982—1983年澳大利亚东部的干旱,以及印度西北部、巴西等地的干旱。因此看来,近年来世界气候变化的主要特点是在许多干燥地区出现了持续和严重的干旱。

我国的干旱区面积为280万 km^2 ,半干旱区面积为175万 km^2 ,二者占全国总面积的47%,与同一纬度相比,我国属于最干旱地区之一。近年来,我国半干旱、半湿润地区降水持续偏少,干旱发展,给农业生产带来了一定的影响,因此弄清我国特别是半干旱、半湿润区气候干湿变化状况,是十分重要的。

气候的干湿变化,是由于水分收支不平衡造成的,水分的收入量大于需要量(蒸发量)气候就相对潮湿,反之则相对干燥。在1949年,陶诗言^[1]收集了当时尽可能得到的气候资料,根据桑斯威特公式(Thornthwaite),对中国各地年平均水分需要量(最大可能蒸发量)进行过分析,并对中国的气候进行了干湿冷暖区划。1950年,英国Penman^[2]提出了另一个水分需要量的计算公式,朱岗崑等^[3]在1955年曾用这个公式对我国蒸

发进行了计算并对中国各地蒸发量的分布及其季节变化作过讨论。钱纪良等^[4]在 1965 年、陈咸吉^[5]在 1982 年都采用 Penman 公式对我国各地最大可能蒸发量进行过计算。在欧洲(包括苏联)以及近年来我国一些工作都采用 Penman 公式作计算。由于 1950 年以前的情况, 陶诗言是用桑斯威特公式进行计算, 为了便于讨论 1950 年前、后两个时段我国气候的干湿变化, 我们在计算 1951—1980 年的最大可能蒸发时, 也采用桑斯威特公式。另外本文所用的区划指标, 也与文献[1]同。

我们首先利用国家气象局整编出版的 1951—1980 年的中国气候资料, 计算了中国各地 30 年平均逐月水分需要量, 再根据降水量和水分需要量计算了各地各月水分收支——用湿润度指数表示——由此对我国气候干湿状况进行区划; 其次讨论各气候区 1950 年前后两个时段气候干、湿状况的变化; 最后讨论了各气候区降水的 10 年际、年际变化及我国半干燥、半湿润气候区降水与非洲一些地区降水的关系。

二、中国各地水分需要量的分析

我们选取全国 340 个代表站, 根据各站月平均温度, 用桑斯威特的经验公式, 计算了中国各地各月水分需要量(最大可能蒸发量), 将各月水分需要量相加, 得到全年水分需要量。桑斯威特经验公式^[6]:

$$E = 1.6 (10 t / I)^2,$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} (t_i / 5)^{1.514}, \quad \alpha = 0.49239,$$

式中 E 为月最大可能蒸发量; I 为全年热量指数; t 为月平均温度。

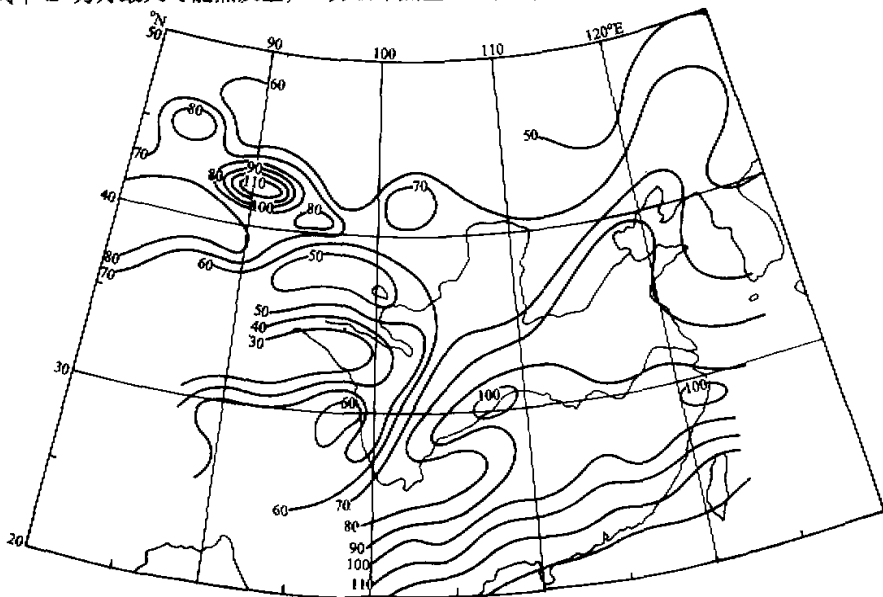


图 1 1951—1980 年平均全国年水分需要量

图 1 给出的是中国 1951—1980 年 30 年平均的年水分需要量的分布。图中等值线的单位为 cm。

从图中可见，中国全年水分需要量一般以高山、高原及高纬度地区为较少，以低纬及内陆盆地、沙漠为较大。青藏高原是全国年水分需要量最少的地区，除高原南部雅鲁藏布江地区在 500mm 以上外，大部分在 500mm 以下，其中唐古拉山和巴颜喀拉山地区还不到 300mm，如玛多、班戈分别只需 250 和 280mm。云贵高原年水分需要量一般为 700—900mm，比同纬度的平原地区少 200mm 左右，如昆明为 750mm，而处于相同纬度的龙岩则达到 1060mm。再如贵阳年水分需要量为 810mm 左右，而纬度相近的衡阳却需要 990mm 左右，二者相差达 180mm。此外，高山地区年水分需要量也较少，如我国的华山仅需要 285mm 左右，黄山为 323mm 左右，峨嵋山为 420mm 左右，泰山为 527mm 左右，庐山为 670mm 左右。华南地区年水分需要量最大，一般都在 1000mm 以上，平均比东北、内蒙和新疆北部多一倍左右，新疆的几个盆地和沙漠地区年水分需要量也较多，如吐鲁番盆地达 1140mm 左右。

综上所述，可以看出，高低纬度、高山平原其年水分需要量的空间分布由于受日照、气温、海拔高度及下垫面情况等因子影响，差别很大。

三、中国干、湿气候区的分布

由于我国各地的降水量与水分需要量的分布并不一致，有的地区降水量超过水分需要量，有过剩的雨水，而有的地区的降水量远不能满足水分需要量。因此把降水量与水分需要量配合分析，能揭示气候的干湿程度。我们用上节计算得到的最大可能蒸发量表示水分支出，用降水量代表水分收入，得到湿润度指数，并由此指数对我国气候进行干湿区划。湿润度指数公式为

$$I_m = \frac{100S - 60d}{N}$$

式中 S 为水分过剩量， d 为水分缺乏量， N 为全年水分需要量。

干燥湿润标准如下

湿润度指数(%)	气候种类
100% 以上	过湿
100—50	潮湿
50—0	湿润
0—-20	半湿润
-20—-40	半干燥
-40—-60	干燥

图 2 是我国 1951—1980 年干湿气候的分布图。从图中可见，从青藏高原沿 35°N 纬度往东，经过秦岭以南—淮河—山东半岛—辽东半岛—到长白山，是干燥气候与湿润气候的分界线(湿润度指数零线)。在此线以北，降水量不能满足水分需要量，它包含干燥、半干燥和半湿润气候区。在此线以南，年降水量多于水分需要量，包含着湿润和潮湿气候区。我国新疆、青海、宁夏、甘肃部分地区属于干燥气候区，其湿润度指数

在 -0.40 以上. 上述地区的外围, 即内蒙北部和河套地区为半干燥气候区, 其湿润度指数在 $-0.40 \sim -0.20$ 之间. 东北平原和华北平原属于半湿润气候区, 其湿润度指数在 $-0.20 \sim 0.0$ 之间. 淮河流域、长江流域、四川盆地、云贵高原及广东、广西均为湿润气候, 其湿润度指数在 $0.0 \sim 0.50$ 之间. 另外在此湿润区内, 有二个区域的湿润度指数超过 0.50 , 为潮湿气候, 其中一个位于云南澜沧、腾冲、丽江、德钦到四川的理塘、雅安范围内; 另一个位于浙江南部与福建和台北之间.

以上 5 种干湿气候的地理分布与我国的自然景观、植被分布基本相符.

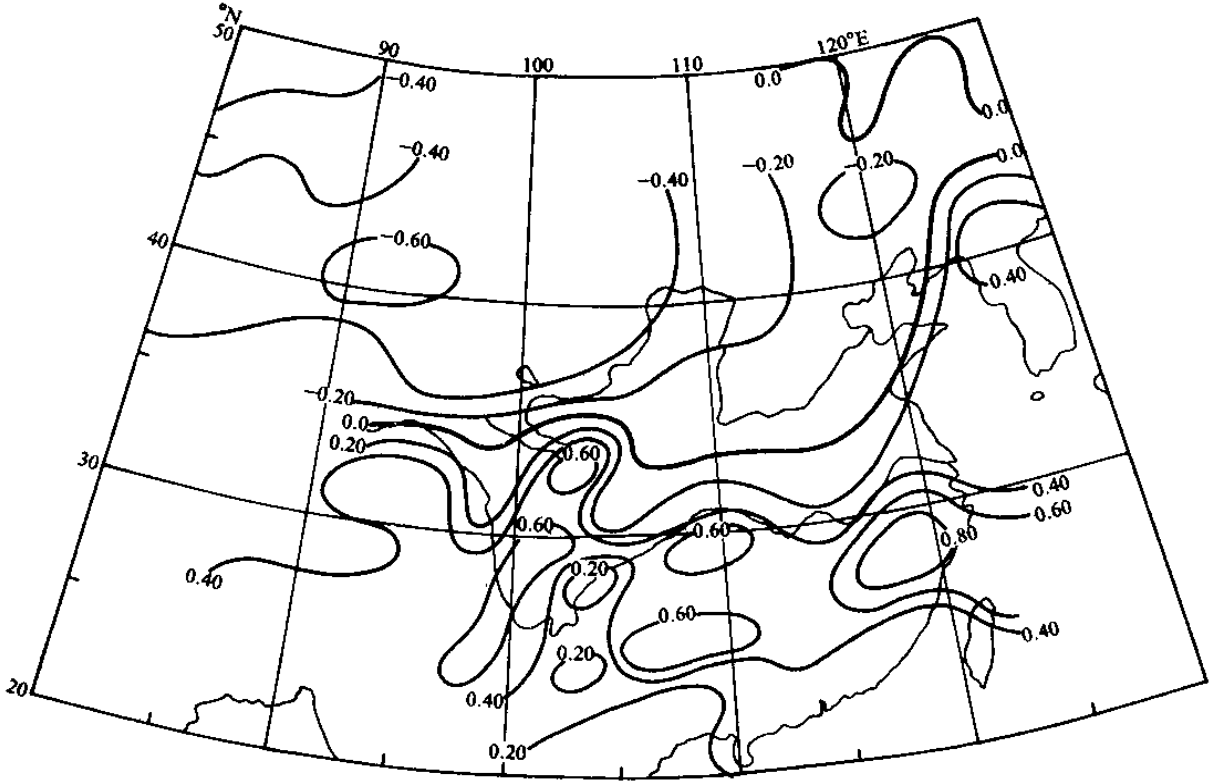


图 2 1951—1980 年中国干湿气候分布

四、中国气候的干湿变化

本节讨论上述 5 类气候区 1950 年前、后两个时段的降水量和水分需要量的变化及其引起的气候干湿变化.

分析表明, 1951—1980 年我国 5 类气候的地理位置与陶诗言文中分析过的情况类似, 即各类气候区所处的地理位置尚无明显改变, 但各气候区 1950 年前后两个时段平均水分需要量及降水量有不同程度的改变. 各区水分需要量及降水量的变化虽然引起了湿润度指数的变化, 但湿润度指数大小的变化还没达到使半湿润气候区变成湿润气候或反之. 因此湿润度指数大小的变化, 一般可以表明气候变得相对较干或相对较湿.

1950 年以前, 干燥气候区年水分需要量一般在 600mm 以上^[1], 而近 30 年期间, 年水分需要量平均增大到 650mm 以上, 该区 1951—1980 年期间的平均年水分需要量比 1950 年前增大了几十 mm . 该区 1935—1950 年 7 个站平均年降水量为 90.49mm , 1951—1984 年 7 个站平均年降水量为 93.37mm . 以上分析表明, 该区前后两个时段降

水量的变化不大,但年水分需要量有较显著差别,这表明我国西北干燥气候区的气候近 30 年来在变干。

半干燥气候区 1951—1980 年期间,平均年水分需要量与 1950 年以前相比,变化不大。1950 年以前,该区平均年水分需要量一般在 680—670mm 以下^[1],1951—1980 年期间,该区平均年水分需要量一般也在 670—680mm 以下。该区 1932—1950 年 4 个站平均年降水量为 348.64mm,1951—1984 年 4 个站平均年降水量为 323.31mm,该区近 30 年来降水每年平均减少 25mm。因此半干燥气候区近 30 年来,虽然水分需要量无显著变化,但由于降水量显著减少,故该气候区的气候稍有变干。

半湿润气候区 1951—1980 年期间,年水分需要量与 1950 年以前相比,有所减少。1950 年以前,平均年水分需要量约在 870mm 以下^[1],而 1951—1980 年期间,约在 850mm 以下,后一阶段比前一阶段减少约 20mm。1920—1950 年期间,该区 5 个站平均年降水量为 582.7mm,而 1951—1984 年期间 5 个站平均年降水量为 621.17mm。故近 30 年来,该区的气候由于水分需要量相对减少,降水量有所增多,变得相对湿润。

湿润气候区 1951—1980 年期间,年水分需要量与 1950 年以前相比,也约减少了 20mm 左右。1950 年以前,该区年水分需要量一般约为 1000mm 左右^[1],1951—1980 年期间,平均约为 980mm 左右。该区近 30 年平均年降水量比 1950 年前的 30 年有明显的增多,1920—1950 年 7 个站平均年降水量 1157.10mm,1951—1984 年 7 个站平均年降水量为 1232.82mm。这表明近 30 年来该区的气候由于降水量的显著增多,年水分需要量的相对减少变得相对较湿。

潮湿气候区 1951—1980 年期间,年水分需要量与 1950 年以前相比,没有显著变化,基本都在 1000mm 左右,但近 30 多年来,平均年降水量略有减少,1920—1950 年期间,8 个站平均年降水量为 1567.34mm,1951—1984 年 8 站平均年降水量为 1554.55mm。这表明,近 30 年来,该区气候干湿状况变化不大。

综上所述,1950 年前后的两个时段,我国各气候区的气候干湿程度发生了一些变化。干燥、半干燥气候区的气候变得相对较干;半湿润和湿润区的气候变得相对较湿;潮湿气候区的气候干湿状况没有较明显的变化。

五、降水量 10 年际及年际变化

上述分析表明,各地年水分需要量的变率较小,而降水量的变率较大,故气候干湿变化主要取决于降水多少,因此我们对近 30 年来降水量的变化做一讨论。

1. 降水量 10 年际时间尺度的变化

我们首先计算了每 10 年时段的降水相对变率,公式如下:

$$R_i = (x_i - \bar{X}) / \bar{X},$$

式中 R_i 为降水的相对变率, x_i 为 10 年平均值, $\bar{X}$ 为 1951—1980 年 30 年平均值。

50 年代,我国降水变率呈负值的区域位于青藏高原和云贵高原部分区域,我国其它区域降水为正变率。这说明 50 年代我国北部和东部地区降水相对偏多,我国西北干燥气候

区降水正变率达 3% — 20%; 半干燥及半湿润气候区降水正变率达 2% — 15%; 东部湿润气候区降水正变率达 1% — 8%。(图略)。

60 年代, 降水相对变率的正、负符号分布基本与 50 年代相反。我国北部(38°N 以北地区)及东部湿润气候区降水变率呈现为负变率, 它们的负变率一般在 -2% — -4%。这表明 60 年代, 我国北部及东部已出现了降水偏少现象。

70 年代, 全国大部分地区降水都偏少, 两河流域(鄱阳湖、洞庭湖)及四川盆地到长江流域及华北、东北地区的降水变率都呈现出负变率, 南方地区负变率达 -1% — -5%, 北方地区负变率达 -3% — -10%。主要负变率中心位于半干燥和部分半湿润气候区(图略)。由于 60 年代北方地区降水已出现了偏少, 70 年代降水继续偏少, 其负率增大, 因此北方地区特别是半干燥和部分半湿润气候区, 干旱现象较为严重。

降水的 10 年际时间尺度变化表明: 50 年代我国大部分地区为降水偏多时期, 60 年代从南往北先后出现了降水偏少的现象, 70 年代北方地区特别是半干燥及部分半湿润气候区降水仍持续偏少, 干旱发展。近 30 年来, 我国降水的变化特点, 在各区降水的年际变化中更加清楚。

2. 各区降水的年际变化

把各气候区的年降水量标准化, 其公式如下:

$$x_j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} \frac{R_{ij} - \bar{R}_i}{\sigma_i},$$

这里 R_{ij} , $\bar{R}_i$ 和 σ_i 分别是 i 站的年降水量、平均值和方差, N_j 是总站数。图 3a — 3e 分别给出干燥、半干燥、半湿润、湿润及潮湿气候区标准化的降水量的年际变化。

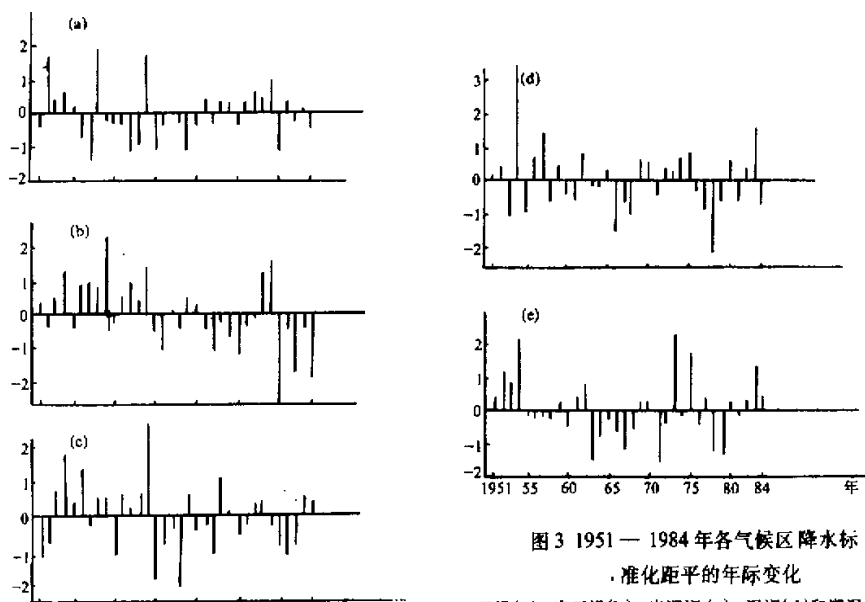


图 3 1951 — 1984 年各气候区降水标准化距平的年际变化
干燥(a), 半干燥(b), 半湿润(c), 湿润(d)和潮湿(e)

图 3a 是干燥气候区 7 个代表站年降水量的逐年变化。从图中可见, 50 年代(除 1957 年外)该区降水相对偏多, 1952 年达 1.60σ , 1958 年达 1.90σ 。60 年代(除 1964 年)该区降水年年偏少, 都是负偏差, 其中 1962 年、1965 年和 1969 年其负偏差都在 -1.0σ 以上。70 年代至 80 年代初, 降水略有增多, 但降水正偏差达 1.0σ 以上的只有 1979 年。

图 3b 给出半干燥气候区 4 个代表站降水量的逐年变化。1964 年以前, 该区降水相对偏多, 基本都为正偏差, 1954 年达 1.24σ , 1959 年为极端多雨年, 正偏差达 2.17σ , 1964 年达 1.34σ 。1965 年以后, 该区降水相对较少, 1972 年和 1975 年负偏差都在 -1.0σ 以上, 1980 年为极端少雨年, 负偏差达到 -2.64σ , 1982 年达 -1.68σ , 1984 年达 -1.92σ 。由于降水量持续出现了较大的偏少, 该区近年来干旱严重。

图 3c 给出半湿润气候区 5 个代表站年降水的逐年变化。从图中可见, 1964 年以前, 该区的降水趋势相对偏多, 1954 年为 1.79σ , 1956 年为 1.37σ , 1964 年为降水最多年, 正偏差达 2.71σ 。1965 年以后, 降水相对偏少, 这个阶段降水多次出现负偏差, 1965 年达 -1.89σ , 1968 年为严重的干旱年, 其年降水负偏差达 -2.03σ , 1972 年达 -1.07σ 。进入 80 年代, 如 1980、1981、1982 年其降水负偏差都在 -0.90σ 以上。这表明半湿润气候区的降水与半干燥气候区有类似之处, 即近 20 年来, 降水也持续偏少, 但是偏少的程度不像半干燥气候区那么严重。

图 3d 给出湿润气候区 7 个站年降水的逐年变化。在 50 年代, 该区降水相对较多, 其中 1954 年和 1957 年正偏差分别达 3.49σ 和 1.36σ 。60 年代, 该区降水相对偏少, 1966 年为严重的干旱年, 降水偏差达 -1.50σ , 1968 年达 -1.0σ 。从 70 年代起, 该区降水呈多变态, 正、负偏差的年分相间出现, 如 1972—1975 年降水相对偏多, 1976—1979 年降水相对偏少, 1980 和 1983 年又偏多, 1981 和 1984 年相对偏少。

图 3e 给出潮湿气候区 8 个代表站年降水的逐年变化。1954 年以前, 该区降水都是较大的正偏差, 如 1952 年达 1.14σ , 1954 年达 2.04σ 。从 1955 年到 1972 年, 连续 18 年降水相对偏少, 其中 1963 年达 -1.56σ , 1967 年达 -1.22σ , 1971 年达 -1.60σ 。1973 年以来, 该区降水呈现出多变态, 如 1973 年为 2.25σ , 1975 年为 1.64σ , 1978 年为 -1.15σ , 1979 年为 -1.31σ , 1983 年为 1.26σ , 即多雨年和少雨年相间出现。

3. 中国半干燥、半湿润区的降水与非洲地区的降水

上节所分析的 5 个气候区的降水变化表明, 近 30 余年来, 我国各地降水的一个显著特点是半干燥及部分半湿润气候区近 20 年来降水持续偏少, 干旱发展。这两个区域降水持续偏少的现象, 与近年来非洲干旱趋势较为相似, 因此我们进一步讨论这两个地区以及非洲地区较长时间的降水变化。

图 4a 给出 1900—1983 年我国半湿润气候区 5 个代表站降水标准化距平的年际变化。图 4b 给出 1900—1983 年萨赫勒地区降水标准化距平的年际变化^[7]。从各自降水的逐年变化中看到, 这两个地区标准比距平正负频率分布较为相似。1900—1919 年期间, 这两个地区的降水都以负偏差为主, 我国半湿润气候区和萨赫勒地区在此期间降水正偏差分别各出现 3 次和 5 次, 这表明在此期间, 这两个地区降水都相对偏少, 但从负值大小看, 我国半湿润气候区降水偏少现象, 远比萨赫勒地区严重。1920—1949 年期

间, 这两个地区各自降水的正负偏差值基本相间出现。我国半湿润气候区正偏差为 12 次, 负偏差为 18 次。萨赫勒地区正偏差为 17 次, 负偏差达 13 次。因此在这 30 年期间, 我国半湿润气候区和萨赫勒地区的降水都各比 1900—1919 年期间相对的偏多, 但萨赫勒地区在这期间相对偏多的次数比我国半湿润气候区要多。1950—1964 年期间, 这两个地区的降水偏差都以正值为主。我国半湿润气候区在这 15 年期间, 正偏差出现了 13 次, 负偏差只出现两次, 而且其负值接近零。萨赫勒地区在此期间其降水正偏差为 11 次, 负偏差 4 次, 并且其负偏差值也不大, 不难看出 1950—1964 年期间, 这两个地区的降水都显著偏多。1965 年至 1983 年这两个地区的降水又同时出现了偏少现象, 但我国半湿润区近 20 年降水偏少的程度没有 1900—1920 年期间那么严重, 而萨赫勒地区近年来降水持续偏少的干旱现象却比 1900—1920 年期间的干旱现象严重。因此我们看到我国半湿润气候区降水变化的趋势虽然与萨赫勒地区有较多相似之处, 但各自的强度变化却有差别。人们所关注的近 20 年来我国半湿润气候区的持续干旱现象, 并不是历史上的最严重时期。我国半湿润气候区这 20 年来降水偏少是相对于 1950—1964 年该区降水相对较多而言。

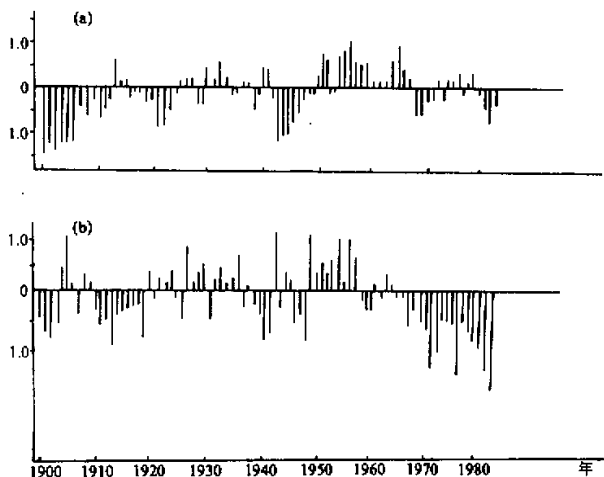


图 4 1900—1983 年中国半湿润区(a)和萨赫勒地区(b)降水标准距平的年际变化

图 5a 给出我国半干燥气候区 4 个代表站 1941—1983 年降水标准代距平的年际变化。图 5b 给出 1941—1983 年西非次撒哈拉(subsaharan)地区降水标准化距平的年际变化^[8]。这两个地区的降水变化基本可分成两个阶段。1941—1964 年, 它们基本以正偏差为主, 是降水相对偏多时期。1965 年至 1983 年这个阶段, 基本以较大的负偏差为主, 降水都偏少, 干旱发展。从强度变化看, 这两个地区降水小于 -1.0σ 以上的年份, 都各有 6 年。进入 80 年代, 我国半干燥气候区降水多次出现较大负偏差, 如 1980, 1981, 1982 和 1983 年降水都很少, 干旱严重, 这与非洲地区的干旱现象较为相似。因此我国半干燥气候区近年来的降水偏少及带来的较严重的干旱, 是较令人担忧的。

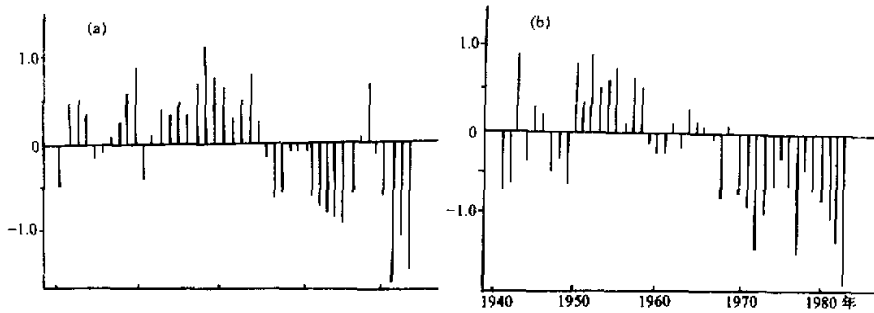


图 5 1941—1983 年中国半干燥区(a)和西非次撒哈拉(b)降水标准距平的年际变化

我们认为,对我国半干燥、半湿润气候区近几十年来气候干、湿变化的成因及其规律进行研究是值得的,这对做好气候预测是有实用意义的。

本文承陶诗言先生多方指教,特致谢意。

参 考 文 献

- [1] 陶诗言, 1949, 中国各地水分需要量之分析与中国气候区域之新分类, 气象学报, 20, 43—50.
- [2] Penman, H. L., 1950, Evaporation over the British Isles, *Q. J. Roy. Met. Soc.*, 76, 372—383.
- [3] 朱岗崑等, 1955, 气象记录在经济建设中的应用(II), 气象学报, 26, 1—23.
- [4] 钱纪良等, 1965, 关于中国干湿气候区划的初步研究, 地理学报, 31, 1—14.
- [5] 陈咸吉, 1982, 中国气候区划新探, 气象学报, 40, 35—47.
- [6] Thornthwaite, C. W., 1948, Approach toward a rational classification of climate, *Geographical Review*, 38, 55—94.
- [7] The Global Climate System 1982—1984, African drought in a regional and global context, Climate System monitoring, 19—29.
- [8] Peter, J. L., 1985, Rainfall in subsaharan West Africa during 1941—1983, Third conference on climate variations and symposium on contemporary climate: 1850—2100, 64—67.

VARIATIONS OF DRYNESS AND WETNESS IN CHINA DURING 1951—1980

Zhang Qingyun and Chen Lieting

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

In this paper, the potential evapotranspiration is calculated by using the Thornthwaite's (1948) system and the moisture index is determined by comparison of it with the corresponding precipitation at 340 stations in China, based on the monthly mean temperature and precipitation data sets of the years 1951—1980.

According to the analysis of the moisture indices, the climatic regions in

China are classified into five types. The secular variations of the dryness and the wetness in each climatic region during the period of 1951 — 1984 are discussed.

It is revealed that the trend of precipitation in North China was similar to that in the Sahel to some extent during the last 20 years, but the drought in North China was not as severe as that in the Sahel.

Key words: Potential evapotranspiration; Moisture index; Relative variability; Interannual change.