

张方敏, 申双和. 中国干湿状况和干湿气候界限变化研究 [J]. 南京气象学院学报, 2008 31 (4): 574-579

中国干湿状况和干湿气候界限变化研究

张方敏^{1,2}, 申双和^{1,2}

(南京信息工程大学 1 应用气象学院; 2 江苏省气象灾害重点实验室, 江苏 南京 210044)

摘要: 选取全国 616 个地面气象台站 1975—2004 年的地面资料, 通过 Penman-Monteith 公式计算的参考蒸散确定湿润指数 (W), 按 W 为 0.03 0.2 0.5 和 1.0 把中国分为极干旱、干旱、半干旱、半湿润和湿润 5 个干湿区, 给出了湿润指数的变化趋势和变异状况的地理分布, 讨论了湿润指数的年代际变化特征。结果表明: 湿润状况显著增加的地区主要为新疆西北部和中国的西南部, 干旱化显著的地区主要在青海的东部、甘肃的南部和四川北部; 干湿状况变化从中国的东部向西部逐渐增大, 中国的西南地区干湿状况最为稳定; 20 世纪 80 年代初全国的平均干湿状况发生变化, 由干旱趋向湿润, 30 a 来半湿润、湿润地区干湿状况年际变化大, 半干旱区和湿润区增多, 半湿润区减少。

关键词: 干湿状况; Penman-Monteith 公式; 湿润指数; 变化趋势

中图分类号: P467 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2022(2008) 04-0574-06

A Study on Dry/Wet Conditions and Changes of Dry/Wet Climate Boundary in China

ZHANG Fang-min^{1,2}, SHEN Shuang-he^{1,2}

(1. School of Applied Meteorology; 2. Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Disaster, NUIST, Nanjing 210044, China)

Abstract Based on the meteorological record of selected 616 weather stations in China during 1975—2004, reference evapotranspiration (E_{T0}) was calculated by using the Penman-Monteith equation recommended by FAO, and the wetness index was also estimated from precipitation and E_{T0} . According to wetness index values 0.03 0.2 0.5 1.0, China was classified into five climate zones: extreme arid, arid, semi-arid, semi-humid and humid zones respectively. The geographical distribution as well as time trend and variation of wetness indices in China are given and its inter-annual and decadal variations are discussed in this paper. Results show that significant wetting trend occurred in northwest Xinjiang District and southwest China; the significant drying trend was found in east Qinghai Province, south Gansu Province and north Sichuan Province. The variations in wet/dry conditions gradually became greater from eastem China to western China, with the smallest change in southwest China. 1980 was a transitional year from when the climate turned from a drying trend to a wetting one. From the beginning of 1975, decadal changes were evident in that semi-humid and humid regions, semi-arid and humid regions expanded, and semi-humid ones shrank.

Key words dry/wet condition; Penman-Monteith equation; wetness index; temporal trend

0 引言

研究气候的干湿状况, 划分不同的气候区域, 为国民经济部门特别是农业水利部门更好地掌握自然规律, 合理布局提供科学现实依据。气候干旱指标

的确定历来受气候学者特别是农业气候学者重视。为了对干湿程度进行定量化研究, 人们往往会根据不同的目的提出不同的划分指标。过去中国的气候干湿区划分方法大致可以分为 3 类^[1-4]: 一是从降水量、土壤含水量、植物蒸腾间的水分平衡出发, 制定

收稿日期: 2007-05-08 改回日期: 2007-10-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40675067)

作者简介: 张方敏 (1983—), 女, 河南漯河人, 硕士, 研究方向为应用气象, zhangyuan@sina.com

干湿气候指标, 由于受理论、资料和技术限制, 现在这一类指标还比较少; 二是用年、月降水量的统计指标, 如降水距平百分率、均方差、月降水量相对系数等来揭示干湿异常规律。农作物生长季的降水量可以作为干湿区划分的主要指标。三是以降水量与蒸发量之比作为指标 (通常称为湿润指数或干燥度) 来表示气候干湿的相对程度。目前最常用的就是降水蒸发比表示的干湿指标。

前苏联多库恰耶夫和维索茨基在 20 世纪初提出用降水量与蒸发量之比来描写气候的特征, 该方法是从大气水分平衡角度出发, 包含了水分收支两个方面, 比单纯的降水量更能反映一个地区的干湿特征, 对农业具有更大的现实意义^[5]。但是由于蒸发的计算方法不同, 所以有多种干燥指数和湿润指数的表示方式^[6-9]。在过去的几十年中, 中国很多学者曾对气候干湿划分进行了研究。袁文平等^[10]对不同干旱指标进行了总结; 曾有学者用蒸发皿蒸发量作为最大潜在蒸发量, 但这样会造成蒸发偏大^[11]; 王菱等^[12]通过 Perman 公式对中国北方 40 a 湿润指数和干湿气候带界线变化进行研究, 认为 40 a 来中国北方其波动大致可以分为弱干湿交替型、持续变干型、持续变湿型 3 类; 同期杨建平等^[13]用 Perman 公式对中国北方干湿气候界线空间变化进行分析, 把全国分为 3 个干湿区, 并对等降水量线与湿润指数线对比, 认为 300 mm 等降水量线对应 0.2 等值线, 为半干旱、干旱区分界线; 500 mm 等降水量线与 0.5 等值线对应, 为干旱、湿润区分界线。吴绍洪等^[14]研究了中国 30 a (1971—2000 年) 的陆地表层干湿状况。

Perman-Monteith 公式是 1965 年 Monteith 在 Perman 等^[15]工作的基础上进行修正, 考虑了植被生理特征, 以能量平衡和水汽扩散理论为基础提出的。Allen 等^[16]、Smith^[17]、Hashmi^[18]、Gurtz 等^[19]、Hashmi 等^[20]分别对不同地区、不同气候条件下参考作物蒸散的主要计算方法进行比较研究, 表明用 Perman-Monteith 公式计算的参考作物蒸散与实测值最为接近; ASCE 资助的研究组在欧洲进行的类似研究^[21], 也得到了相同的结论; FAO 曾将 Perman-Monteith 公式确定为计算参考作物蒸散的标准方法^[21]。本文以张方敏等^[22]利用 Perman-Monteith 公式计算的参考作物蒸散为基础来确定湿润指数, 对中国近 30 a 来干湿状况进行时空分析。

1 资料和方法

本文选用国家气象中心气象资料室提供的 744 站地面观测资料, 包括日最高、最低气温、水汽压、日照时数、风速等。删除缺测较多的台站, 并对某些迁站进行合并插值处理得到 1975—2004 年 30 a 全国 616 个台站的常规资料 (站点分布如图 1 所示)。在进行资料处理时若连续缺测 10 d 以内, 用线性插值法推算; 若某月连续缺测天数大于 10 d 则其月平均值用该站多年月平均值代替。

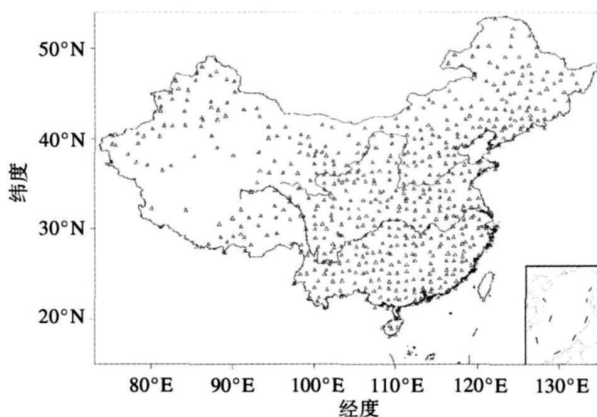


图 1 选用的 616 个台站的分布图

Fig 1 Distribution of the selected 616 stations in China

(1) 湿润指数 (W) 的计算——年降水与年参考作物蒸散之比:

$$W = \frac{R}{E_{T0}}$$

式中: R 为降水量 (mm), E_{T0} 为参考作物蒸散 (mm), 计算过程参考 Allen 等^[21]的研究, 结果参考张方敏等^[22]的结果。

(2) 变化趋势^[23]:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - t)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (i - t)^2}}$$

式中: n 为年数; x_i 为第 i 年要素值; $\bar{x}$ 为样本均值; $t = \frac{(n+1)}{2}$ 。当 r 值为正负时, 表示该要素在所计算的 n 年内有线性增加/减少的趋势。

(3) 变异系数 (C_V):

$$C_V = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{\bar{x}} \times 100\%$$

式中参量意义同上。

(4)变化趋势显著性检验^[23]:

对于序列 x_i 在 i 时刻, $i= 1, 2, \dots, n-1$ 有

$$r_i = \begin{cases} 1 & \text{当 } x_j > x_s \\ 0 & \text{其他。} \end{cases}$$

式中: $j=i+1, \dots, n$ 。统计量 $Z = \frac{4 \sum_{i=1}^{n-1} r_i}{n(n-1)} - 1$, Z 值在 $-1 \sim 1$ 之间变化, 给定显著性水平 α , 假定 $\alpha = 0.05$ 则 $Z_{0.05} = 1.96 \left[\frac{4n+10}{9n(n-1)} \right]^{1/2}$, 若 $|Z| > Z_{0.05}$, 认为变化趋势在 $\alpha = 0.05$ 显著性水平下是显著的。

(5)Mann-Kendall法是一种非参数统计检验方法, 不受少数异常值的干扰, 是一种常用的突变检测方法。在时间序列随机独立的假定下, 定义统计量:

$$U_{Fk} = \frac{[s_k - E(s_k)]}{\sqrt{v_{ar}(s_k)}}, \quad (k = 1, 2, \dots, n)。$$

其中 $U_{F1} = Q E(s_k)$, $v_{ar}(s_k)$ 是累计数 s_k 的均值和方差, 同时使 $U_{Fk} = U_{Bk}$, $k = n, n-1, \dots, 1$, $U_B = Q$ 若 U_F 或 U_B 的值大于 Q 则表明序列呈上升趋势, 小于 0 表明呈下降趋势。当它们超过临界直线时表明序列呈上升或下降趋势显著。超过临界值线的范围确定为出现突变的时间区域, 如果 U_F 和 U_B 两条曲线出现交点, 且交点在临界线之间, 那么交点对应的时刻便是突变开始的时间。

2 研究结果

在以往的研究中有部分学者根据湿润指数或 250 mm、450/500/700 mm 降水量把中国分成 3 个区^[24]: 干旱区、半干旱区、湿润区, 也有用湿润指数 0.25、0.67、1.00^[11] 或干燥度 1.0、1.5、4.0^[25] 作为干旱区、半干旱区、半湿润区、湿润区分界线。

本文结合国际荒漠化公约政府间谈判委员会 (NCD) 制定的《联合国关于在发生严重干旱/荒漠化国家特别是非洲防治荒漠化的公约》、Vysotskii 模型及不同研究者的定义^[26], 采用 20 世纪 70 年代中国干湿气候分区标准划分干湿状况, 为: $W < 0.03$ 为极干旱气候区, $0.03 \sim 0.2$ 为干旱气候区, $0.2 \sim 0.5$ 为半干旱气候区, $0.5 \sim 1.0$ 为半湿润气候区, $W > 1.0$ 为湿润气候区。

2.1 湿润指数分布及干湿区分

图 2 为全国 1975—2004 年 30 a 间的气候干湿带湿润指数分布。湿润指数大于 1.0 的湿润气候区, 主要分布在秦岭—淮河以南, 青藏高原以东包括

四川盆地的广大中南部和东部地区, 以及云南的西南部、西藏的东南部和东北中部狭长区。 W 在 0.5 ~ 1.0 间的半湿润气候区, 主要分布在广大的东北地区、大兴安岭以东、黄土高原以南至青藏高原的东部地区。 W 在 0.2 ~ 0.5 间的半干旱气候区主要包括大兴安岭以西、东北平原以西, 经内蒙古沿黄土高原以西经青海中部至青藏高原的中部地区, 新疆的东部和北部地区。 W 小于 0.2 的干旱区, 包括内蒙古的西部、甘肃西北部、青海西北部及西藏的西北部和新疆的西北地区, 其中新疆的中部、青海的西北角、内蒙古西北角 W 小于 0.03 为极干旱区。

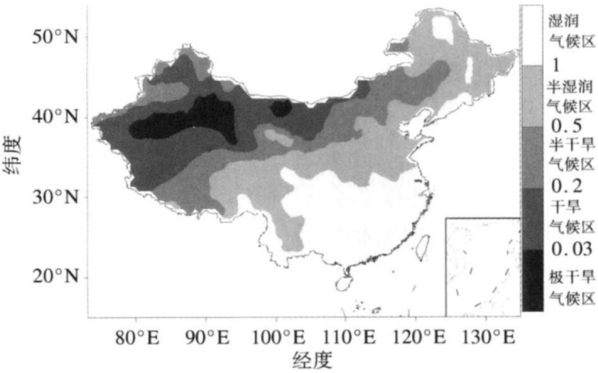


图 2 中国干湿气候区分布

Fig 2 Distribution of dry/wet climate zones in China

2.2 湿润指数时间变化趋势

根据显著性水平检验可知全国 616 个台站干湿状况变化显著的共有 77 个, 其中湿润趋势显著增加的地区主要分布在新疆西北部和中国的西南部 (图 3), 通过 0.01 检验的极显著变湿趋势的有 28 个台站; 通过 0.05 显著性检验的有 26 个台站。干旱趋势显著增加的地区主要分布在青海的东部、甘肃的南部和四川北部, 通过 0.01 极显著性检验的有 8 个台站; 通过 0.05 显著性检验的有 15 个台站。278 台站有变湿趋势, 分布在内蒙古中西部、新疆和西藏的大部分地区、中国的西南部和东部, 但是在东南沿海却呈现气候变干趋势; 261 个台站有变干趋势, 主要分布在东北平原东部沿渤海湾经黄土高原, 东到青海中部, 经四川、重庆南延伸到广西西部, 甘肃的大部分地区, 新疆的东部和西藏的西南部, 东南沿海地区。

由图 2 的我国干湿气候区分布, 可以发现干旱趋势主要发生在我国的半干旱半湿润气候区及湿润气候区的东南部和四川、重庆等地。

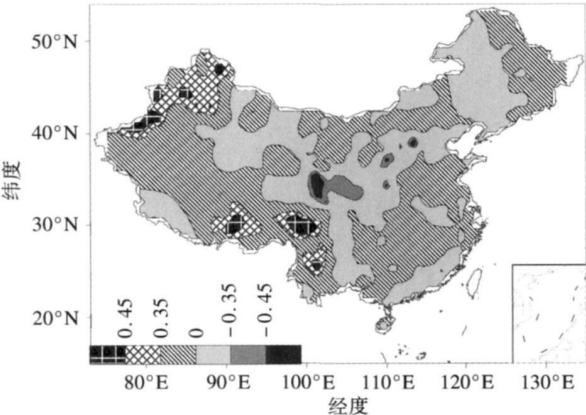


图 3 湿润指数变化趋势
Fig 3 Distribution of time trends of humidity index in China

2 3 湿润指数变异情况

从全国湿润指数的变异情况分布 (图 4) 可知, 中国的半干旱、半湿润和湿润气候区的变异系数较小, 大部分地区在 10% ~ 30% 之间, 西南湿润区变异系数小于 20%, 大兴安岭地区、河北、北京、山东东部到安徽一带, 变异系数为 30% ~ 40%; 中国的干旱气候区, 变异系数基本上为 30% ~ 60%, 以新疆的北部为中心, 变异系数小于 50%, 特别是西北地区变异系数大于 60%, 变异系数向两边递减。

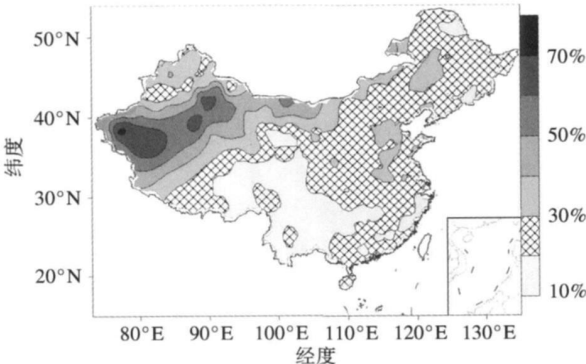


图 4 30 a 湿润指数指数变异情况分布
Fig 4 Distribution of variation coefficients of humidity index over China in 1975—2004

总体来说, 越干旱的地区干湿分布状况年际波动越明显, 越湿润的地区波动越不明显, 即变异系数从中国的东部向西部逐渐增大, 从新疆中部向西又逐渐减小, 且和西部地区的气候带分布基本一致; 从南向北逐渐增大, 南北变化幅度小于东西变化幅度; 波动最大的地区分布在中国的西北地区, 波动最小的地区分布在中国的西南地区。中国的西南地区干

湿分布状况比较稳定, 波动较小; 西北极干旱区的干湿变化最大。

2 4 湿润指数年代特征

为了突出干湿状况的年代特征, 计算了 30 a 湿润指数的距平和累计距平 (图 5), 并绘制 Mann-Kendall 曲线 (图 6)。

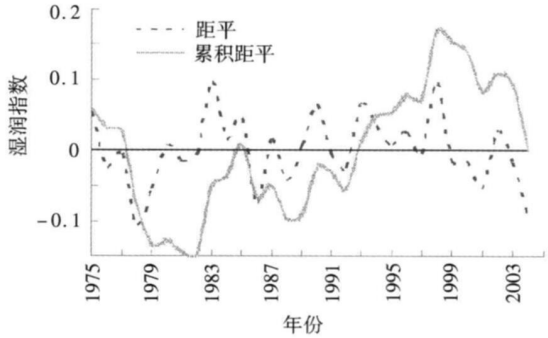


图 5 湿润指数的距平及累积距平
Fig 5 Temporal evolution of the anomaly and accumulate anomaly of humidity index from 1975 to 2004

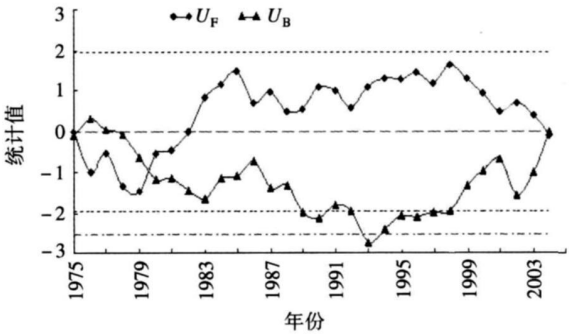


图 6 湿润指数的 Mann-Kendall 检验
(虚线为 0.05 显著性水平临界值, 点划线为 0.001 显著性水平临界值)
Fig 6 Mann-Kendall test for the anomaly and accumulate anomaly of humidity index in 1975—2004
(The two horizontal dot lines represent the 0.95 confidence level and the dash dot line the 0.99 confidence level)

1975 年来的 30 a 间我国干湿气候状况在 20 世纪 70 年代末发生变化: 70 年代后期是持续偏干年, 负距平年占 62.6%, 其中 1978 年为异常偏旱年, 距平为 -0.10。从 80 年代初开始总体气候变湿润, 90 年代湿润程度最为明显, 通过 Mann-Kendall 显著性检验。1986—1989 年湿润状况有所减弱, 1986 年异常偏旱, 距平为 -0.08。1990—1999 年为较长的持续变湿期, 正距平占 90%, 1990、1993、1998 为异常偏湿年, 距平分别为 0.07、0.07、0.10。本世纪以来

的几年(2000—2004年)干旱气候趋势增加,2001、2004年异常干旱,距平分别为-0.06、-0.10。

另外分析了不同年代的湿润指数空间变化。表1给出了不同年代不同干湿状况下的台站统计值,同时图7直观显示了相对于20世纪70年代,其他年代不同干湿类型下的台站变化。总体上,湿润区台站增多,半湿润区台站减小,半干旱区台站呈增—减—增趋势,干旱区台站先增后减,极干旱区台站先减后增。半湿润、湿润地区台站变化最大,前者表现

为台站减少,减少台站大于30个;后者表现为台站增加,增加台站大于23个。半干旱在21世纪初变化大,比20世纪70年代增加26个台站。干旱极干旱区变化不是很大。

2.5 典型台站年际变化分析

根据湿润指数的变异系数的大小,这里挑选3个典型台站行进对比分析,分别是:重庆站(变异系数为0.16),北京站(变异系数为0.30),吐鲁番站(变异系数为0.64)。

表 1 不同年代湿润指数统计量

Table 1 Statistics decadal humidity index for 616 stations in China

区	1975—1979年		1980—1989年		1990—1999年		2000—2004年	
	次数 /个	百分比 /%	次数 /个	百分比 /%	次数 /个	百分比 /%	次数 /个	百分比 /%
极干旱	8	1.3	5	0.81	4	0.65	10	1.62
干旱	60	9.74	66	10.71	62	10.06	55	8.93
半干旱	96	15.58	101	16.40	90	14.61	122	19.81
半湿润	245	39.77	198	32.14	215	34.9	199	32.31
湿润	207	33.6	246	39.94	245	39.77	230	37.34

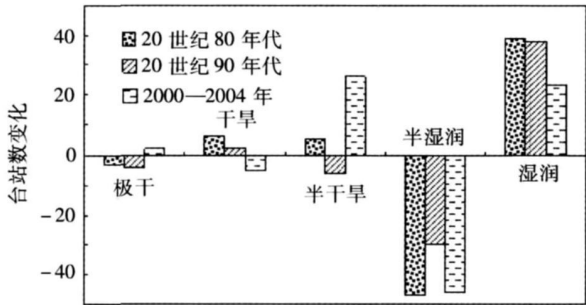


图 7 干湿台站变化的年代对比

Fig 7 Station numbers changes of five dry/wet climate zones in China for the 1980s, the 1990s and 2000—2004 relative to the 1970s

从图8可以得知,3个台站均存在年际周期波动,30a来重庆站和吐鲁番站湿润指数有上升的趋势,北京站有下降趋势。20世纪90年代以前,重庆站和北京站湿润指数的上下波动振幅比较小,波动频率较均匀,一个波动周期为3~4a。20世纪90年代以后,波动周期变短,为2~3a。重庆站的波动振幅变大,年际间的不稳定性增加。北京站湿润指数减小,波动振幅变小,干旱的趋势较稳定。吐鲁番站波动较稳定,周期比较长,但有增长的趋势,1975—1984年、1985—1997年为2个波动周期,21世纪开始几年吐鲁番湿润指数有所增加,按照前2个周期推测,在未来的几年里湿润指数将会下降,有

变干的倾向。

3 结论与讨论

(1)本文利用FAO推荐的Penman-Monteith公式计算参考作物蒸散确定了湿润指数,根据20世纪70年代气候区划标准分区,结果符合传统意义上的分区,并且有利于分析气候区的变化。

(2)全国变湿趋势的台站多于变干趋势的台站,但是干旱化进程大于润湿化进程,四川盆地地区干旱化严重;西南地区湿润状况变异系数小于20%,干旱地区特别是极干旱地区干湿变化特别明显,变异系数甚至大于70%。

(3)1980年前后中国的平均干湿气候状况发生改变;30a来,湿润地区、半干旱地区扩大,半湿润地区缩小,干旱、极干旱区变化不大。

Penman-Monteith公式目前是世界公认的最好的参考作物蒸散方法,本文选其对中国的干湿气候分区进行研究,中国幅员辽阔,气候多样,可能会造成一定的地区性偏差,但也有利于进行地区间的对比分析。Penman-Monteith公式要求详尽的气象资料,故在气象资料缺测的地区有一定的局限性,以后应该发展气象资料缺测下的模型研究,同时结合遥感技术,更准确地进行干湿研究,对我国的农业生产、水利建设、生态环境等提供有益的信息。

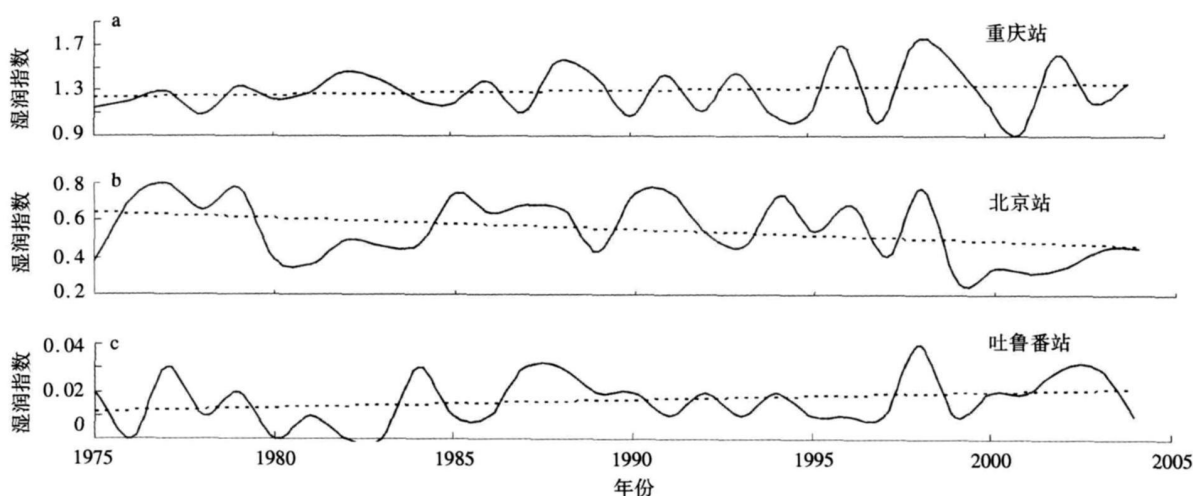


图 8 3 个典型站点湿润指数的年代变化

Fig 8 Temporal evolution of humidity index at three representative stations from 1975 to 2004

参考文献:

[1] 陈明荣.对于干湿气候区划指标问题的探讨 [J]. 西北大学学报:自然科学版, 1974(2): 111-119

[2] 卢其尧,杜钟朴.中国干湿期与干湿区划的研究 [J]. 地理学报, 1965 31(1): 15-24

[3] 中国自然地理编辑委员会.中国自然地理——气候 [M]. 北京: 科学出版社, 1984.

[4] 张家诚.中国气候总论 [M]. 北京: 气象出版社, 1991.

[5] 钱纪良,林之光.关于中国干湿气候区域的初步研究地理学报 [J]. 1965, 31(1): 1-14

[6] 黄庆旭,史培军,何春阳,等.中国北方未来干旱化情景下的土地利用变化模拟 [J]. 地理学报, 2006 61(12): 1-12

[7] 周晓东,朱启疆,孙中平,等.中国荒漠化气候类型划分方法的初步探讨 [J]. 自然灾害学报, 2002 11(2): 125-131

[8] 梁泽学,江静.中国北方地区 1961—2000 年干旱半干旱化趋势 [J]. 气象科学, 2005, 25(1): 9-17.

[9] 孙凤华,袁健.近 40 年来辽宁地区气候干湿界线年代际波动及其成因 [J]. 应用生态学报, 2006 17(7): 1274-1279

[10] 袁文平,周广胜.干旱指标的理论分析与研究展望 [J]. 地球科学进展, 2004, 19(6): 982-991.

[11] 杨建平,丁永建,陈仁升,等.50 a 来我国干湿气候界线的空间变化分析 [J]. 冰川冻土, 2002 24(6): 722-727

[12] 王菱,谢贤群,李运生,等.中国北方地区 40 年来湿润指数和气候干湿带界线的变化 [J]. 地理研究, 2004 23(1): 45-54

[13] 杨建平,丁永建,陈仁升,等.近 50 年来中国干湿气候界线的 10 年际波动 [J]. 地理学报, 2002 57(6): 655-661

[14] 吴绍洪,尹云鹤,郑度,等.近 30 年中国陆地表层干湿状况研究 [J]. 中国科学: D 辑. 2005 35(3): 276-283

[15] Penman H L. Natural evaporation from open water bare soil and grass [J]. Proc Roy Soc London: Ser A, 1948 193: 120-146.

[16] Allen R G, Smith M, Pereira L S. An update for the definition of reference evapotranspiration [J]. C. D Bulletin, 1994 43(2): 64-92

[17] Smith M. Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements [M]. Rome: FAO plant production and protection, 1991

[18] Hashmi M A, Garcia L A, Fontane D G. Spatial estimation of regional crop evapotranspiration [J]. Transactions of the ASAE, 1994, 38(5): 1345-1351

[19] Gurtz J, Baltensweiler A, Lang H. Spatially distributed hydrotopo-based modeling of evapotranspiration and runoff in Mountainous basins [J]. Hydrological Processes, 1999, 13(17): 2751-2768.

[20] Hashmi M A, Garcia L A. Spatial and temporal errors in estimating regional evapotranspiration [J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1998 124(2): 108-114

[21] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop Evapotranspiration—Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 [M]. Rome: FAO, 1998

[22] 张方敏,申双和.我国参考作物蒸散的空间分布和时间趋势 [J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(5): 298-305.

[23] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 1999.

[24] 马柱国,符淙斌.中国干旱和半干旱带的 10 年际演变特征 [J]. 地球物理学报, 2005, 48(3): 519-525.

[25] 刘波,马柱国.过去 45 年中国干湿气候区域变化特征 [C] // 2006 中国气象年会论文集.成都: 中国气象学会, 2006: 232-245.

[26] 中华人民共和国林业部防治荒漠化办公室.联合国关于在发生严重干旱和/或荒漠化的国家特别是在非洲防治荒漠化的公约 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1994.