

中国北方地区 40 年来湿润指数和气候干湿带界线的变化

王 菱, 谢贤群, 李运生, 唐登银

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 本文研究了我国北方地区 1961~2000 年 40 年间气候干湿带界线分布和 10 年际变化。40 年来我国北方地区, 在东经 100°以东地区, 半干旱区和半湿润区的分界线不断波动向东推进, 20 世纪 90 年代比 60 年代向东和向南扩展, 半干旱区面积扩大, 半湿润区面积缩小, 气候趋向干旱化; 东经 100°以西地区, 极端干旱区面积在缩小, 湿润指数有增大趋势。如果把温度和湿润指数相结合, 东经 100°以东的黄淮海区和黄土高原区为持续的干暖型; 东经 100°以西的西北地区, 则由干暖型向湿暖型转变; 河西走廊和东疆盆地转型的时间发生在 20 世纪 70 年代初, 北疆山地绿洲荒漠地区转型的时间发生 20 世纪 80 年代中期前后。气候干湿带界线的变化取决于降水和潜在蒸发的变化速率。40 年来, 在东经 100°以东地区, 降水和潜在蒸发都呈下降趋势, 但降水减少速率大于潜在蒸发下降速率; 在东经 100°以西地区变湿的原因, 研究认为除了降水有所增加外, 潜在蒸发也在下降, 而且潜在蒸发下降速率的绝对值大于降水增加速率。

关键词: 中国北方地区; 湿润指数; 气候干湿带界线变化

中图分类号: P467; P932 **文章编号:** 1000-0585(2004)01-0045-10

1 引言

气候干湿带界线的变化是大气水分循环变化的体现, 对可利用水资源严重匮乏的中国北方地区, “水”的问题是限制经济持续发展和环境改善的最严重问题之一。在过去 40 年中, 不仅全球和中国温度升高了^[1,2], 而且气候干湿带界线也发生了变化。研究干湿带界线的变化, 是全球变化的重要研究内容。

气候干湿带划分的可靠指标是大气降水或是大气湿润(干燥)指数, 前者表示大气水分的收入; 而后者则包括了在自然状况下, 大气水分收、支的两个重要分量: 降水(r)和潜在蒸发或可能蒸发(E), 体现了水量平衡和能量平衡的变化。

我国完成的中国综合自然区划和中国气候区划(初稿)^[3,4], 迄今仍为我国最完整、最系统的自然地域划分, 在国内外产生很大影响, 其干湿区划是以干燥度 $D = \frac{0.16 \sum t}{r}$ 为指标, 式中 $\sum t$ 为日平均气温 $\geq 10^\circ\text{C}$ 期间的积温(等价于可能蒸发), r 为 $\geq 10^\circ\text{C}$ 期间的降水, 0.16 是根据我国实际情况, 假定秦岭、淮河一带的可能蒸发和降水接近平衡调整出来的系数。秦岭、淮河在热量分布、水分平衡和地理景观变化上, 都可视为我国地理上非常重要的南北分界线。但这一方法运用于中国北方, 还存在着一些不足: 因为北方地区在

收稿日期: 2003-05-09; 修订日期: 2003-10-8

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(49890330); 中科院禹城实验站开放课题

作者简介: 王菱(1940-), 女, 大连市人, 研究员。多年从事农田蒸发、山地气候和气候变化研究。

一年中有相当长时间的日平均气温 $<10^{\circ}\text{C}$ ，而这期间的降水和蒸发在水分平衡中起重要作用，在农业生产上，秋冬季降水贮存于土壤中，是农业生产中重要的水资源，不能不预考虑。干湿指标的关键因子在于潜在蒸发的计算，许多学者提出了不同的计算方法，并被引用于中国^[5,6]，不同学者从不同的角度运用不同方法得出的不同结果，彼此之间难于比较，更难于与世界范围内的区划类比。彭曼公式计算潜在蒸发，由于考虑影响因子较多，具有一定的物理基础，但把它直接引入中国运用，遇到公式中参数如辐射平衡随高度变化、风速函数和反射率变化等问题^[7]。

以降水量变化来确定干湿区域界线的变动是干湿区划的另一个重要指标^[8]。最传统、应用最多是用 400mm 等雨量线作为中国半干旱与半湿润区分界线。400mm 等雨量线是重要的自然地理区域分异指标；在大农业上，是农业与牧业交错地带；在林业上，400mm 雨量是营造乔木林的基本水分条件；在水系上，是内陆水系和外流水系的分界，在民族地域分布上，是少数民族和汉族杂居的区域，是气候的敏感地带^[9]。但降水只考虑水分收入部分，未能与地面能量和水分平衡相联系，作为自然地理区划指标仍有不足之处。

毫无疑问，上述区划结果，对国民经济建设和科学研究起到巨大作用。随着科学技术的发展和气象资料积累，我们有可能对干湿区划作进一步改进和研究它的变化。

2 资料来源和计算方法

2.1 资料来源

本文涉及的中国北方是指淮河、秦岭和昆仑山以北的广大区域。选取 207 个气象台(站) 1961~2000 年逐年逐月降水、气温、风速、日照百分率、绝对湿度，计算逐月和逐年湿润指数，资料来源于中国气象局。

2.2 湿润指数的计算方法

本文以年湿润指数作为气候干湿带区划指标。年湿润指数 (W) 的计算方法为年降水与年潜在蒸发之比：

$$W = \frac{r}{E} \quad (1)$$

式中， r 为年降水量 (mm)， E 为年潜在蒸散量 (mm)，潜在蒸发 (E) 用公式 (2) 进行计算，公式 (2) 是在对中国太阳辐射的研究^[10,11]、对公式中的参数进行订正^[12,13]的基础上，并在农田实验中得到验证^[14,15]的彭曼公式，如下式表示：

$$E = \delta / (\delta + \gamma) 1/L \{ (Q + q)_{0i} (0.248 + 0.752n/N) (1 - R) - \sigma T_a^4 (0.56 - 0.08\sqrt{ed}) (0.1 + 0.9 n/N) \} + \gamma / (\delta + \gamma) \{ 0.26 (1 + a 0.7491 \times 10^{-3} U_2) (e_a - e_d) \} \quad (2)$$

式中， E 为潜在蒸发 (mm)， $\delta / (\delta + \gamma)$ 和 $\gamma / (\delta + \gamma)$ 为加权因子，它们是气温和海拔高度的函数，其中 δ 为气温等于 T_a 时饱和水汽压的曲线斜率 ($\text{hp}_a / ^{\circ}\text{C}$)， γ 为干湿表常数 ($\text{hp}_a / ^{\circ}\text{C}$)， L 为蒸发潜热 (J/cm^3)， $(Q + q)_{0i}$ 各月晴天总辐射月总量 ($\text{MJ}/\text{cm}^2 \cdot \text{月}$)， $i = 1, 2, \dots, 12$ (月)， n/N 为日照百分率， R 为不同季节并引入积雪指数的反射率， σT_a^4 为气温等于 T_a 时的黑体辐射 ($\text{J}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)， e_d 为实际水汽压 (hp_a)， $(e_a - e_d)$ 水汽压差 (hp_a)， U_2 为 2m 高度处风速 (m/s)， a 为风速观测高度的换算系数，在中国气象台站网中，风速观测高度为 10m，在计算时，需将 10m 高的风速换算成 2m 高的风速。

3 气候干湿带指标的确定

自然地理区划是建立在确切的生态学意义上的，干湿界线的确定应以阐明客观存在的

地域和反映分异的自然变动地理单元为基础^[16]，这个界线既有突变性，也有渐变性，存在着不同等级的自然综合体的复杂镶嵌，应考虑自然要素间相互作用和相互联系的综合体的一致性。

在中国，极具生态学意义、又被公认的自然地理界线有二条：一条为秦岭、淮河一线，干燥指数等于 1.0；另一条为降水量等于 400mm 农牧交错带。气候干(湿)带的划分，首先应与这两条线相符，同时也应与世界干湿气候带的划分具有可比性，因为气候和环境变化是全球性的，这样，就需要一个既能够反映国内生态环境，又能与全球大范围相类比的干(湿)指标。

联合公式(1)和(2)，计算出了湿润指数。本文为分析我国北方干湿状况，参考了我国自东向西植被带的分布特征^[17]，对联合国环境计划署、世界粮农组织、教科文组织和气象组织的专家于 1977 年根据生物气候带特征，对世界沙漠化问题确定的划分气候干湿带标准，即 $r/E < 0.03$ 为超干旱，也称极端干旱， $r/E = 0.03 \sim 0.20$ 为干旱气候带， $r/E = 0.20 \sim 0.50$ 为半干旱气候带， $r/E = 0.50 \sim 0.70$ 为半湿润气候带^[18]，进行了适当的修改和补充：即 $r/E = 0.50 \sim 0.75$ 为半湿润气候带， $r/E = 0.75 \sim 1.0$ 为比较湿润气候带， $r/E > 1.0$ 为湿润气候带。

图 1 为北方地区 1961~2000 年 40 年平均干湿带的分布图，图中也同时划出同期降水量的分布。

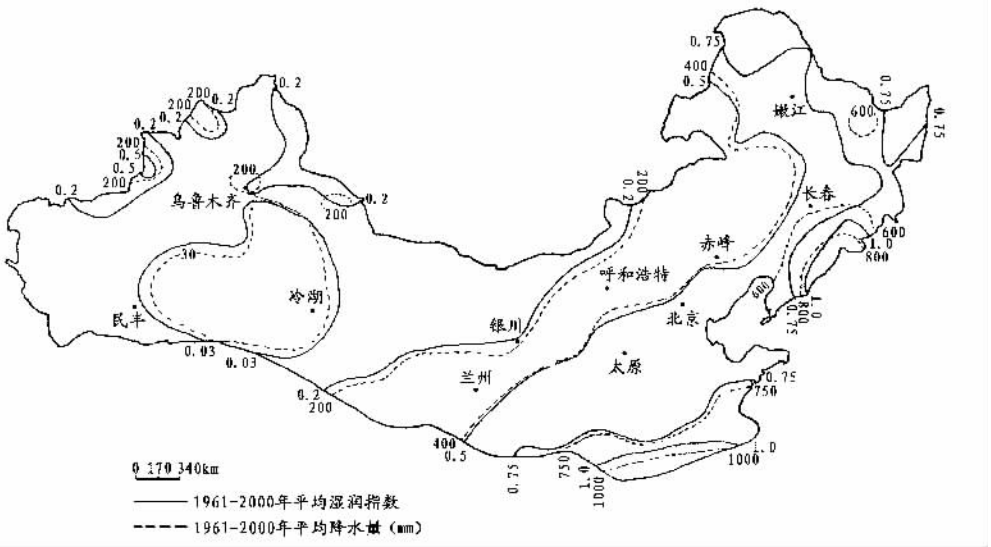


图 1 中国北方干湿气候带与降水量分布图

Fig. 1 Distributions of dry and wet climate zone and precipitation in northern China

从图中可以看出，湿润指数 < 0.03 的极端干旱区，主要分布在塔里木盆地东部和柴达木盆地的西部，年平均降水量在 30mm 以下；湿润指数在 $0.03 \sim 0.20$ 的为干旱区，分布于内蒙古、甘肃、青海的中西部和新疆的大部分地区，年湿润指数 0.20 线与年降水量 200mm 古线基本相符，经内蒙古的二连、百灵庙，宁夏的银川，青海的都兰；湿润指数等于 $0.20 \sim 0.50$ 的半干旱区，分布于新疆北部和西部山区，东北平原西部，华北平原北部和黄土高原的中部；湿润指数 0.5 线，沿海拉尔以北、齐齐哈尔、阜新、丰宁、河曲、

吴旗、固原一线,与400mm等雨量线相一致;湿润指数等于0.5~0.7的为半湿润区,分布于东北平原中、东部,三江平原、和华北平原。华北平原半湿润区南界(湿润指数等于0.75)大致经过山东的莒县、临沂,河南商丘、许昌、卢氏和陕西的安康,大致与750mm等雨量线相符;在东北地区,湿润指数0.75线大致经过内蒙古的图里河,黑龙江的北安、通河、牡丹江,辽宁的抚顺,再东拐至丹东以南,在北部,雨量分布为500~550mm,南部为550~600mm;东北地区湿润指数等于0.75~1.0的较湿润区分布于小兴安岭和张广才岭,年雨量为550~600mm;在黄淮海南部,湿润指数1.0线,沿江苏淮阴,安徽的阜阳,河南的驻马店,与年降水量1000mm等雨量线相当,也与综合自然区划^[4]的干燥度指标等于1.0的数值一致,大致与淮河、秦岭一线相符,这是我国最重要的气候分界线;长白山地区,年湿润指数 ≥ 1.0 ,与年降水量 ≥ 800 mm相当。虽然在长白山区和黄淮海南部,湿润指数都 ≥ 1.0 ,但前者雨量却比后者少200mm左右,这显然是因为前者潜在蒸发量较少的缘故。

从上述分析可知,图1中湿润指数1.0线与自然区划^[4]中干燥度等于1.0的界线基本相符,湿润指数0.5线与400mm等雨量线基本相符,也就是说与中国两条最重要的自然地理界线相符,故可以认为本文所确定的湿润指标的和干湿带的划分是可信的。

4 气候干湿带的10年际变化

图2以20世纪60年代(1961~1970)为基础,比较每10年际气候干湿带的变化,实线为60年代十年平均干湿气候带的划分,虚线则为70年代(1970~1980)、80年代(1981~1990)和90年代(1991~2000)气候干湿带界线的变化。与60年代相比,70年代湿润指数等于0.5一线,由齐齐哈尔、河曲、兰州,分别向北移到嫩江、向南移到太原、向东移到固原一线,最大移动距离达170~200km,半干旱地域扩大,半湿润地域缩小,东北地区湿润指数等于0.75~1.0和大于1.0的湿润气候带明显缩小;西北区 < 0.03 极端干旱区的面积也在缩小。

80年代,东北地区湿润指数0.5线向西退缩, > 0.75 的区域增加,气候变得较为湿润;但华北和黄土高原,湿润指数0.5线仍向东推进,但强度比70年代弱;在中部的阿拉善高原,出现了 < 0.03 的极端干旱区域;西部地区 < 0.03 的范围继续缩小。

90年代,三江平原和东北平原的东部相对较湿润,黄土高原地区湿润指数0.5线,由60年代的河曲、榆林,向东、向南移动到太原以东、运城以南,最大移动距离达510~580km,华北半湿润地区的面积仍在缩小,气候逐渐变干;而西部 < 0.03 的地区继续缩小,新疆北部和西部湿润指数等于0.2~0.5的半湿润区在扩大。

综上所述,40年来,中国北方地区干湿气候带是在不断地波动变化,这一变化可大致分为三个类型:

(1)弱干湿交替型,以东北地区最为典型,60年代相对湿润,70年代为40年中最干旱时期,80年代相对变湿,90年代又有变干迹象;

(2)持续变干型,包括华北平原、黄土高原和淮北平原,半湿润和半干旱的分界线,即湿润指数等于0.5一线,40年来是波动向东推进,60年代属半湿润地区的汾渭谷地(太原、运城等地),到90年代已变成半干旱气候地区了;

(3)持续变湿型(相对意义的变湿,这是因为湿润指数虽然变大,但气候仍然干旱),主要分布在河西走廊和东疆盆地,北疆和南疆,湿润指数 < 0.03 的极端干旱区域在持续变小,0.2~0.5的半干旱区在扩大。

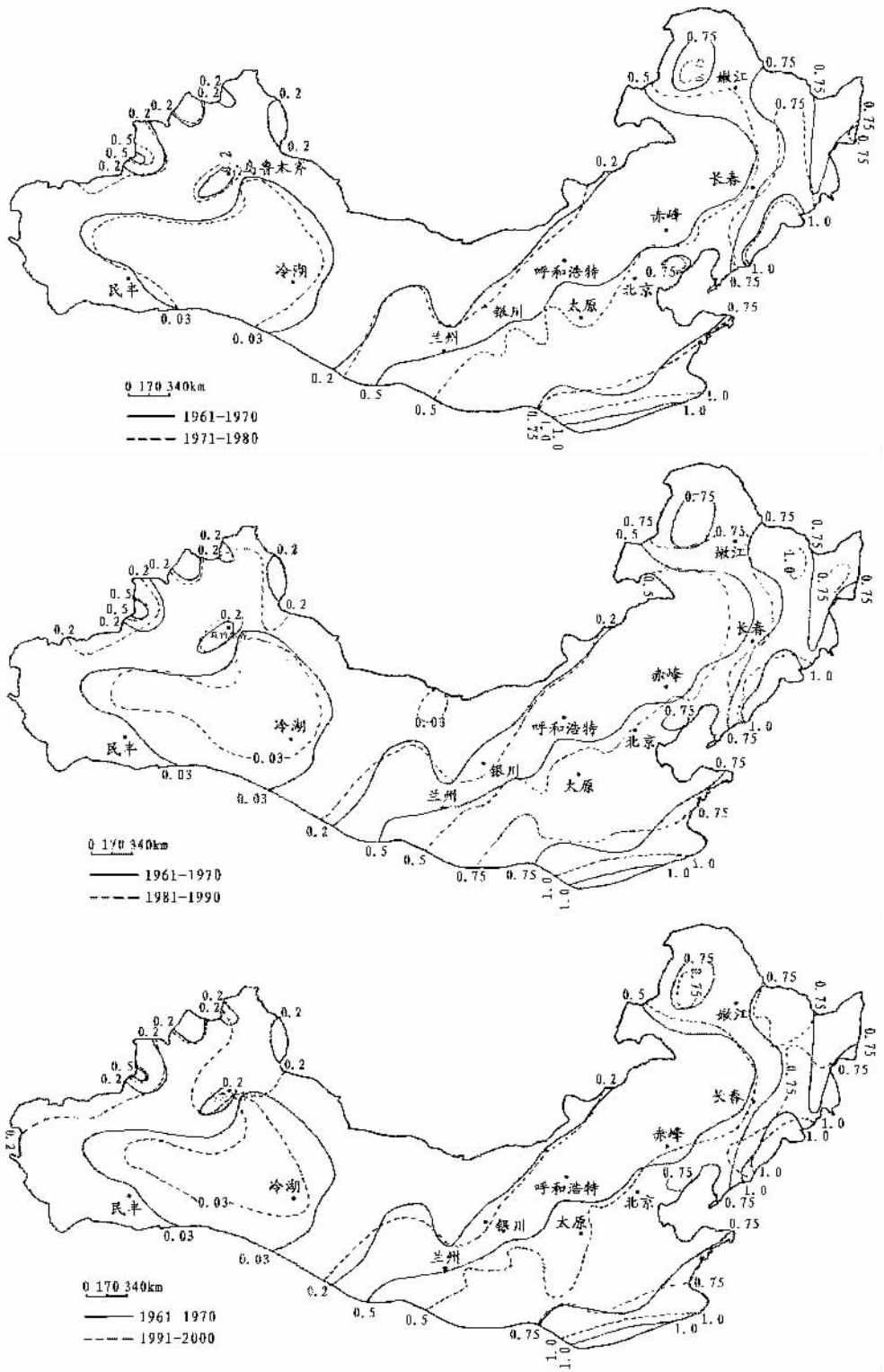


图 2 气候干湿带 10 年际变化

Fig. 2 The decadal changes of dry and wet climatic zone

5 干湿带界线变化原因的探讨

干湿带界线的变化取决于湿润指数 (W) 的变化。根据中国农业区划方案^[19], 把中国北方分成 5 个一级区、16 个二级农业类型区, 它们是东北区 (包括四个二级区: 大小兴安岭、东北平原、长白山区、辽宁平原丘陵), 黄淮海区 (华北平原、山东丘陵、淮北平原), 内蒙古高原及长城沿线 (冀东及长城沿线山地、河套银川平原), 黄土高原区 (汾渭谷地、陕北宁东丘陵沙地、晋陕甘黄土丘陵沟壑区、宁南陇中黄土丘陵), 西北区 (河西走廊和东疆盆地、北疆山地绿洲荒漠、南疆山地绿洲荒漠), 表 1 列出中国北方地区 5 个农业大区平均湿润指数 10 年际变化。

表 1 中国北方地区湿润指数 10 年际变化

Tab. 1 The decadal changes of humid index in northern part of China

地 区	1961~1970	1971~1980	1981~1990	1991~2000	90 年代与 60 年代差 (%)
东北区	0.699	0.656	0.744	0.690	-1.3
黄淮海区	0.665	0.649	0.622	0.643	-3.3
内蒙古高原及长城沿线	0.423	0.393	0.383	0.417	-1.4
黄土高原区	0.584	0.505	0.570	0.467	-20.0
西北区 (东经 100°以西)	0.121	0.124	0.153	0.165	+36.4

从表中可以看出: 40 年来, 中国北方的 5 个农业类型大区中, 有 4 个区的湿润指数是呈下降趋势, 其中黄土高原区下降最为明显, 90 年代比 60 年代下降了 20.0%; 西北区湿润指数呈明显上升趋势, 90 年代比 60 年代上升了 36.4%。

从湿润指数 ($W = \frac{r}{E}$) 定义来看, 它的变化取决于降水 (r) 和潜在蒸发 (E) 两个分量, 40 年来, E 和 r 都发生了明显变化, 气候的变干或变湿则取决于这两个分量的变化速率。中国北方大致以东经 100°为界, 在东经 100°以东的地区, 40 年来湿润指数呈下降趋势, 气候趋向干旱化; 在东经 100°以西的地区, 湿润指数呈明显上升趋势, 气候相对变湿。表 2 选取东经 100°以东的黄淮海区的华北平原和山东丘陵、黄土高原的汾渭谷地的 3 个农业类型二级区, 和东经 100°以西的西北区的河西走廊和东疆盆地、北疆山地绿洲荒漠、南疆山地绿洲荒漠 3 个农业类型二级区, 比较 20 世纪 60 年代和 90 年代降水、潜在蒸发和气温变化。

从表 2 中可以看出: 东经 100°以东的华北平原、山东丘陵和汾渭谷地, 90 年代潜在蒸发比 60 年代分别降低 29.6 mm、48.8 mm 和 43.7mm, 而同期降水则分别减少 33.8 mm、62.4 mm 和 94.4mm, 降水减少的速率大于潜在蒸发减少的速率; 东经 100°以西的河西走廊和东疆盆地、北疆和南疆山地绿洲荒漠, 1991~2000 年平均降水比 1961~1970 年分别增加 6.6 mm、51.3 mm 和 11.5mm, 而同期潜在蒸发则分别减少 161.6 mm、75.8 mm 和 71.3mm, 潜在蒸发的下降速率绝对值大于降水增加速率, 由此可得出: 东经 100°以东地区, 湿润指数降低主要与降水的减少有关, 气候干旱程度增加; 东经 100°以西, 湿润指数明显增加, 虽然与降水的增加有关, 但更与潜在蒸发的减小有关, 是气候变湿的重要原因之一。

表 2 20 世纪 60 年代和 90 年代降水、潜在蒸发量 (mm) 和气温 (°C) 的比较

Tab. 2 The precipitation, potential evaporation(mm) and temperature(°C) in the 1960s and the 1990s

地区	降 水			潜 在 蒸 发			气 温		
	1991~2000	1961~1970	差	1991~2000	1961~1970	差	1991~2000	1961~1970	差
华北平原	548.6	586.4	-33.8	956.4	986.0	-29.6	13.5	12.5	1.0
山东丘陵	643.2	705.6	-62.4	1022.0	1070.8	-48.8	13.7	13.3	0.4
汾渭谷地	429.3	523.7	-94.4	866.8	910.5	-43.7	11.9	11.0	0.9
河西走廊和东疆盆地	38.7	32.1	6.6	964.0	1125.6	-161.6	12.5	10.2	2.3
北疆山地绿洲荒漠	219.6	168.3	51.3	853.6	929.4	-75.8	5.6	4.8	0.6
南疆山地绿洲荒漠	57.6	46.1	11.5	929.3	1000.5	-71.3	12.0	11.6	0.4

彭曼公式对潜在蒸发的定义为“在土壤永不缺乏水分, 植物生长活跃, 完全郁闭, 且高度均一的短草条件下, 土壤蒸发和植物蒸腾之和”^[20], 称潜在蒸发, 也称蒸发力。很明显, 这是大气蒸发能力的一个量度, 它标志大气中存在着一种控制各种下垫面蒸发过程的能力。表 2 列出的潜在蒸发量是按公式(2)的计算结果。本文又对近 40 年来中国北方地区 70 个气象台(站)观测蒸发皿的蒸发量进行了统计分析, 表 3 列出中国北方地区东经 100° 以东和以西各 3 个二级农业类型区的蒸发皿测定蒸发量的 10 年际变化。从表中可以看出: 蒸发皿测定的蒸发量呈明显下降趋势, 而且西部的下降速率大于东部。这一结果与国外有关研究^[21~23]是一致的, 这说明在过去的 50 年来, 蒸发皿的蒸发量下降趋势至少在北半球具有普遍性。潜在蒸发和蒸发皿的蒸发下降原因与太阳辐射和辐射平衡的变化有关, 由于篇幅的限制, 有关这方面的研究, 将另文作详细的阐明。

表 3 蒸发皿测定的蒸发量(mm)的 10 年际变化

Tab. 3 The decadal changes of pan evaporation (mm)

地 区	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	90 年代与 60 年代差值
华北平原	1895.5	1733.2	1709.6	1727.9	-167.6
山东丘陵	2248.6	2129.6	2129.7	1908.9	-339.7
汾渭谷地	1779.5	1743.5	1583.1	1751.7	-27.8
河西走廊和东疆盆地	3051.8	2722.5	2594.8	2389.4	-662.4
北疆山地绿洲荒漠	2128.4	2102.5	1901.2	1737.3	-391.1
南疆山地绿洲荒漠	2604.4	2533.2	2393.1	2232.1	-372.3

6 湿润指数变化趋势的检验

利用 Mann-Kendall 法^[24], 对中国北方地区的湿润指数作突变性检验, 图 3 中的 UF_k 为湿润指数的顺序统计量曲线, UB_k 为逆序统计量曲线, 并给定显著性水平: 当 $\alpha=0.05$, 临界线 $U=\pm 1.96$ 。若 UF_k 或 UB_k 的值大于 0, 则表明湿润指数序列呈上升趋势, 小于 0, 则表明呈下降趋势。如果 UF_k 和 UB_k 两条曲线出现交点, 且交点在两条临界线之间, 那么交点对应的的时间便是突变开始时间。当统计量曲线超过临界线 $U=\pm 1.96$ 时, 为出现突变的时间区域。本文只列出有明显变湿的 2 个二级农业类型区域的检验结果, 从图中可以看出: 河西走廊和东疆盆地, 1965 年以前气候比较干旱, 1971 年发生突变, 此

后气候逐渐变湿,至 1987 年显著变湿,信度超出 $U_{0.05} > +1.96$;北疆山地绿洲荒漠,变湿突变点发生在于 1984 年前后,至 1993 年前后,气候显著变湿,信度 $U_{0.05} > +1.96$ 。

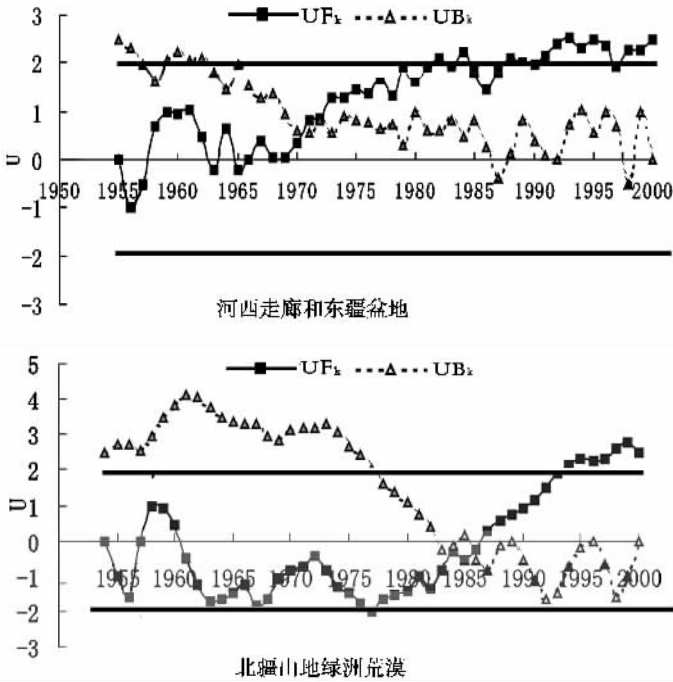


图 3 湿润指数 Mann-Kendall 统计量曲线 (直线为 $\alpha=0.05$ 显著性水平临界线)

Fig. 3 Statistical Mann-Kendall curves of humid index

如果把温度和湿润指数变化相结合,这两个农业区,是由于干暖型向温暖型转变。河西走廊和东疆盆地转型的时间发生在 20 世纪 70 年代初,北疆山地绿洲荒漠转型的时间发生在 20 世纪 80 年代中期前后。在北方其它地区,干湿界线虽有波动变化,但 40 年来湿润指数统计量曲线信度都在 $U_{0.05} = \pm 1.96$ 之间变动,未能超出 ± 1.96 的明显变湿或变干的界线。

7 结论

本文研究了中国北方地区 1961~2000 年 40 年平均气候干湿带界线分布及其 10 年际变化,得出如下结果:

(1) 40 年来,东经 100° 以东的黄土高原和黄淮海地区,半干旱区和半湿润区的分界线,不断波动向东和向南推进,半干旱区面积不断扩大,半湿润区逐渐缩小,气候趋向干旱化;东经 100° 以西的西北地区,极端干旱区和干旱区的面积渐趋缩小,气候变得相对湿润。

(2) 如果把温度和湿润指数相结合,东经 100° 以东的黄土高原和黄淮海地区,为持续的干暖型;东经 100° 以西的西北地区,则由干暖型向相对温暖型转变,河西走廊和东疆盆地转型时间发生在 20 世纪的 70 年代初期,北疆山地绿洲荒漠转型时间发生在 20 世纪 80 年代的中后期。

(3) 干湿带界线的变化, 取决于降水和潜在蒸发的变化速率。东经 100° 以东的地区, 降水和潜在蒸发的速率都呈下降趋势, 但降水的下降速率大于潜在蒸发的下降速率, 气候趋向于干旱化; 东经 100° 以西的西北地区变湿的原因, 本研究认为除降水有所增加外, 潜在蒸发也在下降, 而且潜在蒸发的下降速率大于降水增加速率。

参考文献:

- [1] Folland C K, *et al.* In Climate Change 2001: The Scientific Basis. Houghton J T, *et al.* Eds. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2001. 99~181.
- [2] 陈隆勋, 朱文琴, 王文. 中国近 45 年来气候变化研究. 气象学报, 1998, **56**(3): 257~27.
- [3] 黄秉维. 中国综合自然区划草案. 科学通报, 1959, **18**: 594~602.
- [4] 中国科学院区划工作委员会. 中国气候区划(初稿). 北京: 科学出版社, 1959.
- [5] 卢其尧, 卫林, 杜钟朴, 等. 中国干湿期与干湿区划的研究. 地理学报, 1965, **31**(1): 15~23.
- [6] 张庆云, 陈烈庭. 近 30 年来中国气候的干湿变化. 大气科学, 1991, **15**(5): 72~81.
- [7] 钱纪良, 林之光. 关于中国干湿气候区划初步研究. 地理学报, 1965, **31**(1): 1~14.
- [8] 张家诚. 气候变化对中国农业生产的影响初探. 地理研究, 1982, **1**(2): 8~15.
- [9] 龚高法. 中国农业对气候变化的敏感带和敏感地区. 张翼, 等. 主编: 气候变化及其影响. 北京: 气象出版社, 1993.
- [10] 左大康, 王懿贤, 陈建绥. 中国地区太阳总辐射的空间分布特征. 气象学报, 1963, **33**(1): 78~95.
- [11] 张炯远, 冯雪华, 倪建华. 用多无回归方程计算我国最大晴天总辐射能量资源的研究. 自然资源, 1981, (1): 38~46.
- [12] 王懿贤. 高度对彭门蒸发计算公式中 $\delta/(\delta+\gamma)$ 和 $\gamma/(\delta+\gamma)$ 二因子的影响. 气象学报, 1981, **39**(4): 503~506.
- [13] 王懿贤. 彭门蒸发力快速表算法. 地理研究, 1983, **2**(1): 93~107.
- [14] 王菱, 倪建华. 以黄淮海为例研究农田实际蒸散量. 气象学报, 2001, **59**(6): 784~793.
- [15] 李运生, 王菱, 刘士平, 等. 土壤根系界面水分调控措施对冬小麦根系和产量的影响. 生态学报, 2002, **22**(10): 1680~1687.
- [16] 倪绍祥. 苏联地理学界关于自然地理区划问题研究近况. 地理研究, 1982, **1**(1): 95~102.
- [17] 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会. 中国自然地理植物地理. 北京: 科学出版社, 1988.
- [18] Masami Ichikawa. Present situation of desertification and its research in the world. Geographical Review of Japan, 1988, **61**(2): 61~103.
- [19] 陈百明主编. 中国农业资源综合生产能力与人口承载能力. 北京: 气象出版社, 2001.
- [20] Penman H C. Natural evapotranspiration from open water, bare soil and grass. Proc. R. Soc. Lond. Ser. A, 1948, **193**: 120~145.
- [21] Michael L Roderick, Graham D Farquhar. The cause of decreased pan evaporation over the past 50 years. Science, 2002, **298**: 1410~1411.
- [22] Brutsaert W, Parlange M B. Hydrologic cycle explains the evaporation paradox. Nature, 1998, **396**: 30.
- [23] Peterson T C, Golubev V S, Grolsman, P Ya. Evaporation losing its strength. Nature, 1995, **377**: 687~688.
- [24] 魏风英编著. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 1999.

Changes of humid index and borderline of wet and dry climate zone in northern China over the past 40 years

WANG Ling, XIE Xian-qun, LI Yun-sheng, TANG Deng-yin

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: In this paper mean locations of borderline for wet and dry climate zone in northern China over the past 40 years from 1961 to 2000 and their decadal changes were studied. Over 40 years in northern China, boundary line of semiarid and subhumid zones where W (humid index) is 0.5 moved gradually toward the east. In the eastern part east of 100°E , especially in the 1990s it moved toward the east and the south compared with that in the 1960s, which resulted in the enlargement of semiarid area and the shrinkage of subhumid area, and the climate tended to become dried; and in the western part west of 100°E , the extremely dry area was dwindled and the climate tended to become wetted evidently. By combining the temperature with W we can call the eastern part east of 100°E where the North China Plain and the Loess Plateau are located a sustaining dry and warm type; the northwestern part west of 100°E can be called transitional zone from dry and-warm type into humid and warm one, of them the Hexi corridor and East Xinjiang Basin started to change in the early 1970s while the mountain region, oasis, and desert in northern Xinjiang started to change around the mid 1980s. The deterring factor for changes of borderline in the wet and dry climate zone is the variation rate of precipitation vs. potential evaporation. Over the past 40 years both precipitation and potential evaporation tended to decrease in the eastern part east of 100°E , but the decreasing rate of precipitation is higher than that of potential evaporation. We think that the cause for wetting in the western part of 100°E was that the potential evaporation has been decreasing with the increase of precipitation, moreover the absolute value for decreasing rate of potential evaporation is higher than that of increasing rate of precipitation.

Key words: northern China; humid index; change for the borderline of wet and dry climate zone