

藏北牧区地表湿润状况对气候变化的响应

杜 军¹, 边 多², 胡 军³, 拉 巴¹, 周刊社¹

(1. 西藏自治区气候中心, 拉萨 850001; 2. 西藏高原大气科学环境研究所, 拉萨 850001;
3. 拉萨市气象局, 拉萨 850001)

摘要: 利用 1961~2006 年藏北牧区 6 个站月平均最高气温、最低气温、降水量、风速、相对湿度、日照时数资料, 应用 Penman-Monteith 模型计算得出潜在蒸散, 分析了地表湿润指数的变化趋势、年代际变化特征及季节差异, 并讨论了影响地表湿润指数的气象因子。研究表明: 近 46a 藏北牧区年地表湿润指数呈现增大趋势, 增幅 0.01~0.05/10a; 四季地表湿润指数大部分牧区也呈增大趋势, 春、秋季增幅明显。近 26a (1981~2006 年)、季潜在蒸散表现为明显的减少趋势, 降水量显现增多趋势, 地表湿润指数增大趋势加大, 以夏季最为突出。就年平均而言, 藏北牧区 20 世纪 60 年代初、中期以高湿低温为其主要气候特征; 20 世纪 60 年代后期至 80 年代中期, 表现为冷干型的气候特征; 90 年代初之后, 气温持续升高, 地表湿润指数显著增加, 呈现以暖湿为主的年代际变化特征。湿润指数对降水量、相对湿度和气温日较差的响应最为敏感, 而对日照时数和风速的响应也较为明显。

关键词: 藏北; 地表湿润指数; 气候变化; 敏感性分析

文章编号: 1000-0933(2009)05-2437-08 中图分类号: Q142, P146 文献标识码: A

Responses of climatic change on surface humid index in Northern Tibet during the period of 1961 — 2006

DU Jun¹, BIAO Duo², HU Jun³, LA Ba¹, ZHOU Kan-She¹

¹ Tibet Climate Center, Lhasa 850001, China

² Tibet Institute of Plateau Atmospheric and Environmental Science Research, Lhasa 850001, China

³ Lhasa Meteorology Bureau, Lhasa 850001, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2437 ~ 2444.

Abstract: Based on the observational data of monthly maximum temperature, minimum temperature, precipitation, wind speed, relative humidity and sunshine duration of 6 stations in the Northern Tibet from 1961 to 2006, the potential evapotranspiration were computed using Penman-Monteith equation. The linear trend, inter-decadal variation and the seasonal difference of the surface humid index were analyzed, and the relationship between surface humidity index and elements such as sunshine duration, mean wind speed and diurnal temperature range were discussed. The results show that: (1) The annual surface humidity index increased during the period of 1961 — 2006, and the increase rate was around 0.01 — 0.05/10a. Also, the seasonal surface humidity index increased in most parts of the Northern Tibet, especially in spring and summer. In recent 26 years (1981 — 2006), the annual and seasonal potential evapotranspiration showed a declining tendency, and precipitation plays an obvious increasing trend, which resulted in the rise range of annual and seasonal surface humidity index increase, especially in summer. (2) In terms of inter-decadal variations for surface humidity index, from the early to mid 1960s, the climate showed higher wet and lower temperature in the Northern Tibet. While from the late 1960s to the mid 1980s, the climate presented colder and drier. After the early 1990s, the increasing trend of mean temperature existed, the surface humidity index increased significantly, and the climate showed warm and wetter. (3) The

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40865008, 40761005)

收稿日期: 2008-02-11; 修订日期: 2008-04-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dujun0891@163.com

surface humidity index was most sensitive to precipitation and relative humidity as well as daily temperature range change, which was more sensitive to sunshine duration and wind speed change.

Key Words: Northern Tibet; surface humid index; climate change; sensitivity analysis

由于“温室效应”的加剧,近百年来全球气温有明显的上升趋势。IPCC 第 4 次评估报告中指出:近 100a (1906 ~ 2005 年)全球平均地表温度上升了 0.74°C ,1850 年以来最暖的 12 个年份有 11 个出现在近期的 1995 ~ 2006 年,过去 50 年升温率几乎是过去 100 年的 2 倍^[1]。近年来,在地域分异和全球变化的研究过程中,对陆地表层干湿状况给予了特别的关注。许多学者对中国的干湿状况进行过研究探讨^[2~14],如 1971 ~ 2000 年中国大部分地区最大可能蒸散近 30a 来呈减少趋势,以西北、青藏高原、西南、华中中部和东北南部地区减少趋势显著;仅东北、华北和沿海局部地区略有增加。干湿指数变化趋势的区域特征为:华北、柴达木盆地和华南沿海干湿指数略有增加,其余地区均有不同程度的减少;干湿指数变化具有显著趋势的区域主要分布在新疆北部部分地区和藏东川西滇北地区,且变化率为负值,即这些地区 30a 来湿润状况有显著好转。1961 ~ 2000 年 40a 来中国北方地区,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。青藏高原 1971 ~ 2000 年干湿状况,其趋势是由东南向西北干旱程度增加;近 30a 该地区气温呈上升趋势,降水呈增加趋势,最大可能蒸散呈降低趋势,大多数地区的干湿状况有由干向湿发展的趋势。西藏雅鲁藏布江中游 20 世纪 80 年代中后期到 90 年代,降水量增加、最大潜在蒸散显著减小,地表呈变湿趋势。

那曲地区处于青藏高原腹地,有密集的高原湖泊和保存最完好的高寒生态系统,平均海拔 4500m 以上。整个地形呈西高东低倾斜,中西部地形辽阔平坦,多丘陵盆地,东部多高山峡谷。该地区也是西藏重要的畜产品生产基地。由于长期的气候变化和人类活动,藏北草地已经出现大范围的退化以及局部的沙化现象,导致草群中优良牧草比例降低,草丛高度变矮,覆盖度下降,产草量明显降低,严重制约了藏北畜牧业的可持续发展。作为环境演变敏感区域,该区对全球变化的“响应”极为明显^[15],降水、气温等环境因子的变化都影响到该区域的干湿状况。因此,分析和研究该地区地表湿润状况变化趋势、年代际变化等特征及其与环境因子的关系,这将有利于认识生态环境现状与过去的差异,为合理配置和利用水资源,探索西藏草地生态环境的变动原因、进行未来气候变化研究,以及防止生态脆弱带自然环境的进一步恶化和区域的畜牧业生产和经济建设提供科学基础。

1 资料及地表湿润指数的定义

本文选取那曲地区(藏北牧区)资料年限为 40 年的 6 个气象站点(图 1)1961 ~ 2006 年的月最高气温、最低气温、相对湿度、降水量、风速、日照时数资料(对部分迁移站所造成的数据质量进行了均一化校正)。地表湿润指数关系表达式为:

$$W = P/ET_0 \quad (1)$$

式中, W 为地表湿润指数, P 为月降水量(mm), ET_0 为月潜在蒸散(mm),它的计算应用 1998 年 FAO 推荐并修订的 P-M 模型 ET_0 :

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (2)$$

$$R_n = 0.77 \times (0.248 + 0.752 \frac{n}{N}) R_{so} - \sigma \left(\frac{T_{\max,k}^4 + T_{\min,k}^4}{2} \right) (0.56 - 0.08 \sqrt{e_a}) (0.1 + 0.9n/N) \quad (3)$$

$$G_i = 0.14(T_i - T_{i-1}) \quad (4)$$

式中, R_n 为净辐射^[16] ($\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$), G 为土壤热通量($\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$), γ 为干湿常数, Δ 为饱和水汽压曲



图1 藏北牧区气象站点分布

Fig. 1 Distribution of meteorological stations over Northern Tibet

线斜率, U_2 为 2m 高处的风速 (m/s), e_a 为实际水汽压 (hPa), e_s 为饱和水汽压 (hPa), σ 为 Stefan-Boltzmann 常数 ($4.903 \times 10^{-9} \text{ MJ}/(\text{K}^4 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d})$), $T_{\max, k}$ 、 $T_{\min, k}$ 分别为绝对温标的最高和最低气温 (K), T_i 、 T_{i-1} 分别为本月和前一个月的平均气温 ($^{\circ}\text{C}$), n 为实际日照时数 (h), N 为可照时数 (h), R_{s0} 为晴天辐射 ($\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)。

通过算术平均法建立藏北牧区四季 (12~2 月份为冬季, 3~5 月份为春季, 6~8 月份为夏季, 9~11 月份为秋季) 以及年的平均降水量、平均气温、潜在蒸散等序列, 以分析该地区地表湿润指数的气候特征。多年平均值采用 1971~2000 年标准气候平均值。

气象要素趋势变化率用下式进行估计:

$$Y = a_0 + a_1 t \quad (5)$$

式中, Y 为气象要素, t 为时间, a_0 为常数项; a_1 为线性趋势项, 把 $a_1 \times 10$ 表示为气象要素每 10a 的气候倾向率 (变化趋势)。

2 地表湿润指数的变化特征

2.1 地表湿润指数的变化趋势

根据近 46a 藏北牧区年地表湿润指数的气候倾向率分析 (表 1), 各站均表现为不同程度的增大趋势, 增幅为 0.01~0.05/10a (除索县外均通过 0.10 以上显著性检验), 以安多增幅最大。尤其是近 26a (1981~2006 年) 各站地表湿润指数增幅更明显, 增幅为 0.04~0.09/10a。过去 46a 里, 四季地表湿润指数大部分牧区呈现为增大趋势, 春、秋季增幅较为明显, 特别是近 26a 增大的趋势在加大, 以夏季最为突出, 增幅为 0.07~0.18/10a, 其中西部的申扎增幅最大, 其次是嘉黎, 为 0.13/10a (图 2)。

就藏北牧区平均而言, 近 46a 年、季地表湿润指数均表现为不同程度的增加趋势, 增幅为 0.01~0.03/10a, 其中春、秋季增幅明显。然而, 近 26a 夏季地表湿润指数却以 0.12/10a 的速率明显增加, 且增幅最大, 秋季次之, 为 0.08/10a。这表明藏北牧区年地表湿润指数的增大主要是因为夏、秋两季地表湿润指数明显增加所造成的。

2.2 地表湿润指数的年代际变化

从统计数据可知, 年、季地表湿润指数 1971~2000 年与 1961~1990 年的标准气候平均值比较, 除夏季减小 0.02 外, 其它季节增大了 0.02~0.06, 以秋季增幅最明显, 年平均值无变化。

冬、秋季地表湿润指数 20 世纪 60 年代至 80 年代均为负距平, 90 年代为正距平; 春季地表湿润指数 60 年

代到 70 年代为负距平,80 年代至 90 年代基本无变化;夏季地表湿润指数 60 年代到 70 年代为正距平,80 年代至 90 年代变化不大。

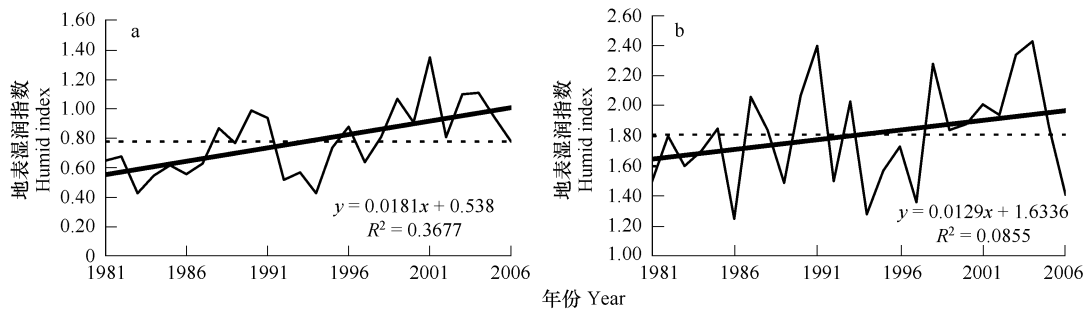


图 2 近 26 年申扎(a)、嘉黎(b)夏季湿润指数的变化

Fig. 2 Variation of humid index in Shantsa (a) and Chali (b) in summer from 1981 to 2006

折线为历年值,点线为多年平均值,粗斜线为趋势值 break line-original value, dot line-mean value, black slope line-linear trend value

表 1 藏北牧区年、季湿润指数的气候倾向率

Table 1 Linear trend of annual and seasonal surface humid index in Northern Tibet

季节 Season	西部(半干旱) West (Semi-arid)		中部(半湿润) Middle (Semi-humid)		东部(湿润半湿润) East (Humid and Semi-humid)		藏北牧区 Northern Tibet
	班戈 Palgon	申扎 Shantsa	那曲 Nakchu	安多 Amdo	索县 Sokshan	嘉黎 Chali	
春季 Spring	0.02▲/0.03	0.02★/0.04★	0.04★/0.07▲	0.04★/0.02	0.03△/0.09★	0.05▲/0.03	0.03★/0.05▲
夏季 Summer	0.04/0.07	0.02/0.18★	-0.01/0.11	0.03/0.10	-0.02/0.11	-0.01/0.13△	0.01/0.12△
秋季 Autumn	0.03/0.05	0.03/0.04	0.06▲/0.00	0.09/0.06	0.01/0.10	0.13★/0.20	0.05▲/0.08
冬季 Winter	0.01/0.01	0.01★/0.01	0.02★/0.02	0.02★/0.00	0.04★/0.05	0.01/-0.01	0.02★/0.01
年 Annual	0.02▲/0.04	0.03▲/0.08★	0.02△/0.07▲	0.05★/0.06△	0.01/0.08▲	0.04▲/0.09▲	0.03▲/0.07★

△, ▲, ★分别表示通过 0.10, 0.05 和 0.01 显著性检验水平;“/”前后数字分别为 1961~2006 年和 1981~2006 年的气候倾向率 The linear trend tests are significant with $p < 0.10$ (△), $p < 0.05$ (▲), $p < 0.01$ (★); The number of forward and back with ‘/’ are the linear trend of 1961—2006 and 1981—2006

根据藏北牧区平均年、季地表湿润指数 11a 滑动平均曲线变化的分析,冬季(图 3b),地表湿润指数较小,为 0.03~0.21。20 世纪 60 年代到 80 年代中期湿润指数持续偏小;从 80 年代末开始迅速增大,至 21 世纪初地表湿润指数有所减小。春季,20 世纪 60 年代至 90 年代初期以偏干为主,90 年代中期至 21 世纪前 6 年以偏湿为其主要的年代际变化特征,转折年大约是 1996 年。在夏季(图 3a),20 世纪 60 年代地表湿度较大,70 年代到 90 年代中期相当长的时间,地表湿润指数在均值附近振荡;90 年代后期到 21 世纪前 6a,湿润指数迅速增加,显现为偏湿的年代际变化特征。秋季,20 世纪 60 年代到 80 年代初呈现为低湿的年代际变化特征,90 年代至 21 世纪初地表湿润指数为正距平,2005 年又开始减小。就年平均地表湿润指数而言(图 3c),20 世纪 60 年代到 80 年代初由高湿转为低湿,转折年大约出现在 1969 年;80 年代中期至 90 年代初湿润指数在均值附近摆动;自 1992 年起,湿润指数迅速增大,持续到 2006 年,特别是 20 世纪 90 年代末至 21 世纪前 6a 表现为明显的高湿气候特征。

此外,图 4 给出了藏北牧区年、季地表湿润指数与平均气温 11a 滑动距平的变化曲线,以分析地表湿润指数(干湿)和平均气温(冷暖)间的对应关系,由图可得以下事实:(1)冬季,20 世纪 60 年代至 80 年代初呈现为低温低湿的年代际变化特征,属于冷干型气候;80 年代后期到 21 世纪初基本维持高温高湿的气候特征。(2)春季(图略),20 世纪 60 年代至 80 年代末以冷干气候为主,90 年代中后期到 21 世纪初,却以暖湿为其主要的年代际变化特征。(3)夏季,20 世纪 60 年代为高温高湿,70 年代到 80 年代中期持续了相当长的低温低湿,80 年代后期到 90 年代中期为高温低湿阶段。进入 90 年代后期,湿润指数持续增加,气温显著偏高,该时期藏北牧区表现为以暖湿为主的年代际变化特征。(4)秋季,20 世纪 60 年代到 80 年代呈现为低温低湿的年

代际变化特征,90 年代至 21 世纪初,气温持续升高,地表湿润指数明显偏大,表现为暖湿型的气候特征。但 2005 年以后,地表湿润指数偏低,气温仍偏高,为暖干型气候。(5)就年平均地表湿润指数而言,20 世纪 60 年代初、中期主要表现为以高湿低温为主的气候特征;60 年代后期至 80 年代中期,气温偏低,地表湿润指数为负距平,表现为冷干型的气候特征;80 年代后期到 90 年代初呈现为高温低湿的特点,之后气温持续升高,地表湿润指数显著增加,此时期藏北牧区表现为以暖湿为主的年代际变化特征。

3 地表湿润指数对气象因子的敏感性

从湿润指数的定义来看,它的变化取决于降水和潜在蒸发两个分量,46a 来,两者都发生了明显变化,气候的变干或变湿则取决于这两个分量的变化速率。而潜在蒸散是一个敏感性很强的气候要素,其又受二方面的条件控制:一是能量供给条件,主要源于太阳净辐射;二是水汽输送条件,取决于气温、湿度和风速的大小。

3.1 潜在蒸散及其影响因子的变化趋势

根据近 46a 年潜在蒸散的变化趋势分析(表 2),藏北牧区表现为不显著的减少趋势,减幅为 4.7mm/10a,各季节潜在蒸散减幅不足 2.0 mm/10a,变化趋势不明显。但在近 26a,四季潜在蒸散呈明显的减少趋势,减幅为 5.6 ~ 14.2mm/10a,其中夏季减幅最大(通过 0.01 显著性检验),其次是秋季,减幅为 10.1 mm/10a(通过 0.01 显著性检验),冬季减幅最小。由于各季节潜在蒸散的明显减少,造成年潜在蒸散以 -38.9 mm/10a 的速率显著减少。

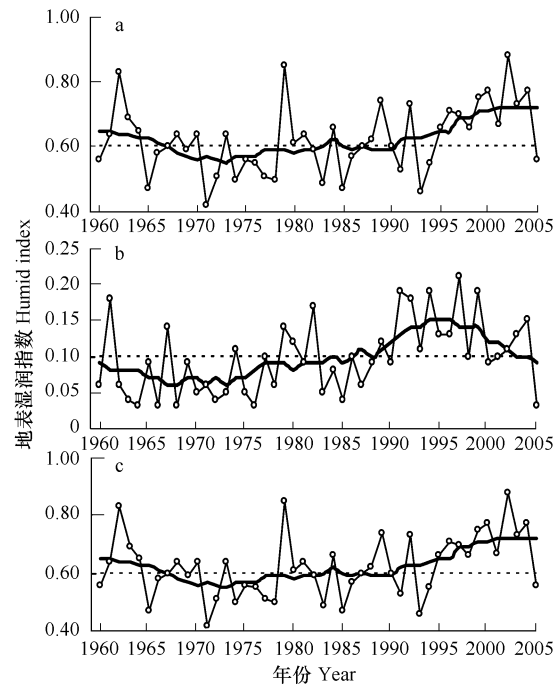


图 3 近 46 年藏北牧区地表湿润指数的变化

Fig. 3 Variation of surface humid index in Northern Tibet during the period of 1961 ~ 2006

a. 夏季, b. 冬季, c. 年 (折线为历年值, 点线为多年平均值, 粗线为 11 年滑动平均值 a. summer, b. winter, c. annual (break line-original value, dot line-mean value, black line-11 years moving mean value))

表 2 藏北牧区潜在蒸散及其影响气象因子的气候倾向率

Table 2 Linear trend of potential evaporation and impact meteorological elements in Northern Tibet

季节 Season	日照时数 (h/10a) Sunshine duration	平均风速 (m·s ⁻¹ /10a) Mean wind speed	相对湿度 (%/10a) Relative humidity	平均气温 (℃/10a) Mean temperature	平均最高气温 (℃/10a) Mean maximum temperature	平均最低气温 (℃/10a) Mean minimum temperature	平均日较差 (℃/10a) Daily temperature range	降水量 (mm/10a) Precipitation	潜在蒸散 (mm/10a) Potential evapotranspiration
春季 Spring	-3.2/ -14.2	-0.04/ -0.53*	1.9*/ 4.6*	0.16△/ 0.36	0.02/ 0.39	0.38*/ 0.41*	-0.36*/ -0.03	6.3*/ 9.7△	-1.7/ -9.0
夏季 Summer	-7.8/ -46.5*	-0.03/ -0.40*	0.1 / 3.6*	0.12△/ 0.28▲	0.05/ 0.12	0.20▲/ 0.40*	-0.15△/ -0.47▲	1.6 / 13.4	-0.4/ -14.2*
秋季 Autumn	-2.9/ -17.7△	-0.06/ -0.40*	0.7 / 4.5*	0.27*/ 0.46▲	0.11/ 0.22	0.42*/ 0.73*	-0.32*/ -0.51△	5.4▲/ 2.6	-1.4/ -10.1*
冬季 Winter	0.4/ -7.1	-0.05/ -0.40*	2.7*/ 5.7*	0.50*/ 0.80▲	0.18/ 0.70△	0.79*/ 0.92*	-0.61*/ -0.22	1.7*/ 0.7	-1.4/ -5.6
年 Annual	-13.7/ -85.6*	-0.04/ -0.40*	1.3*/ 4.6*	0.26*/ 0.48*	0.09/ 0.35▲	0.45*/ 0.67*	-0.36*/ -0.31▲	15.1▲/ 26.3△	-4.7/ -38.9*

△, ▲, ★分别表示通过 0.10, 0.05 和 0.01 显著性检验水平; “/” 前后数字分别为 1961 ~ 2006 年和 1981 ~ 2006 年的气候倾向率 The linear trend tests are significant with $p < 0.10$ (△), $p < 0.05$ (▲), $p < 0.01$ (★); The number of forward and back with ‘/’ are the linear trend of 1961 ~ 2006 and 1981 ~ 2006

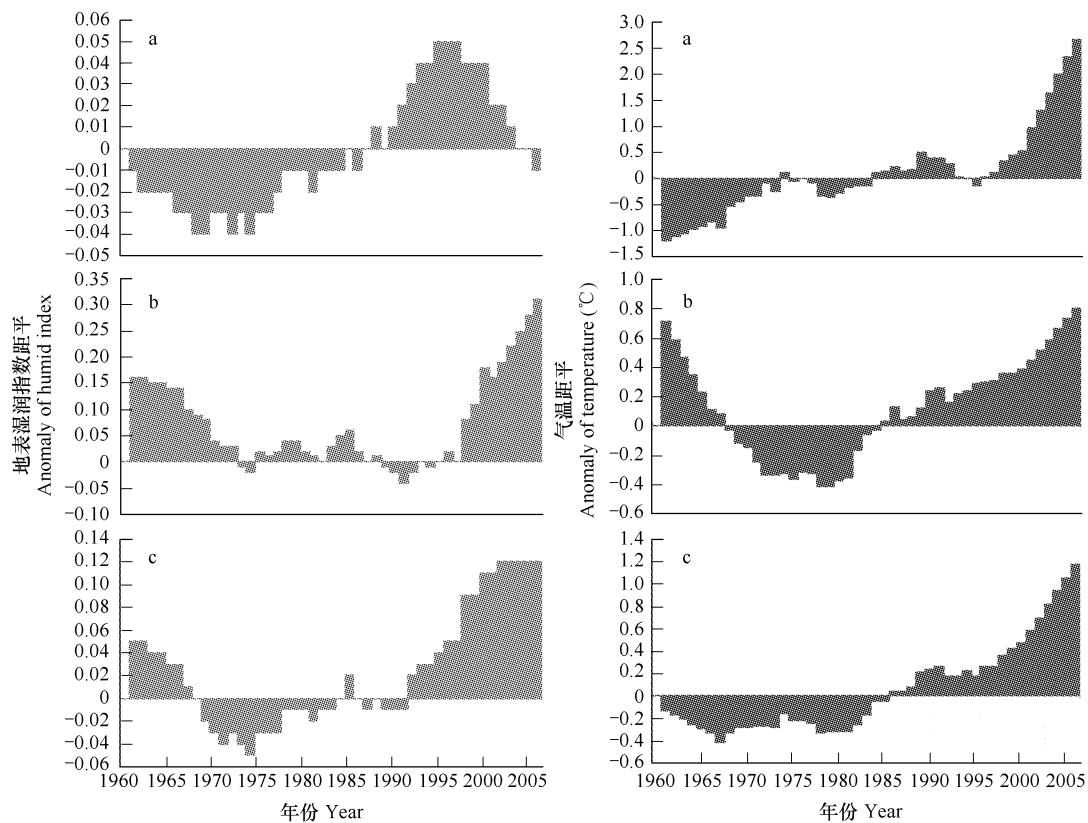


图4 近46年藏北牧区年、季地表湿润指数(左图)、平均气温(右图)的距平

Fig. 4 Anomaly value of annual and seasonal humid index (left) and mean temperature (right) in Northern Tibet from 1961 to 2006

a. 冬季, b. 夏季, c. 年 a. winter, b. summer, c. annual

从影响藏北牧区潜在蒸散主要气象因子的气候倾向率来看(表2),近46a日照时数在以 $-13.7\text{ h}/10\text{a}$ 的速率减少,除冬季外,其它季节日照时数呈减少趋势,减幅 $2.9\sim7.8\text{ h}/10\text{a}$ 。特别是近26a,日照时数的减小幅度明显增大,以夏季最突出,达 $46.5\text{ h}/10\text{a}$ (通过0.01显著性检验)。近26a四季平均风速以 $-0.40\sim-0.53\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}/10\text{a}$ 的速率显著减小,春季减幅最大;各季节相对湿度均呈现为明显的增加趋势,增幅 $3.6\%\sim5.7\%/10\text{a}$,年相对湿度以 $4.6\%/10\text{a}$ 的速率显著增加。近46a年平均气温表现为显著的升高趋势,增幅为 $0.26\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,各季节以 $(0.12\sim0.50)\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率增温,特别是近26a增温幅度更大,以冬季最突出。各季节平均最低气温均呈现为极显著的上升趋势,升幅为 $(0.20\sim0.79)\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,冬季上升幅度最大,夏季最小;年平均最低气温以 $0.45\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率显著升高。年、季节平均最高气温呈不同程度的升温趋势。年平均气温日较差以 $-0.36\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率减小(通过0.01显著性检验),各季气温日较差均表现为明显的减小趋势,减幅为 $(0.15\sim0.61)\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (通过0.10以上的显著性检验)。

3.2 降水量的变化趋势

而影响地表湿润指数的另一重要因子,年降水量在近46a表现为增加趋势,增幅为 $15.1\text{ mm}/10\text{a}$ (通过0.05显著性检验,表2),各季节降水量也表现为增加趋势,以春季增幅最明显,增幅达 $6.3\text{ mm}/10\text{a}$ 。特别是近26a春、夏季降水量的增加趋势有所加大,平均每10a分别增加了 9.7 mm 和 13.4 mm ;年降水量也以 $26.3\text{ mm}/10\text{a}$ 的速率明显增加(图4),这表明近期藏北牧区年降水量的增加主要是由于春、夏两季降水的明显增加。

3.3 地表湿润指数的敏感性分析

从表2可以看出,过去46a藏北牧区降水量增加的速率明显大于潜在蒸散减少的速率,地表湿润指数增加主要与降水的增加有关。而近26a,该区域湿润指数明显增加,虽然与降水的增加有关,但更与潜在蒸散的

显著减少有关,是气候变湿的重要原因之一。由于风速和日照均为影响潜在蒸散重要因子,近 26a 它们的明显减少在很大程度上从气候因子角度解释了潜在蒸散减少趋势的原因;相对湿度的明显增加和气温日较差的显著减少,对蒸发量的减少也起了非常重要作用。

为了说明地表湿润指数与气象因子的关系,对藏北牧区湿润指数与各气候因子进行了相关分析(表 3)。从表 3 中可知,湿润指数与日照时数呈显著的负相关,相关系数在 -0.586 以上(除冬季外),夏季可达 -0.798 ,说明日照时数在湿润指数增加趋势中起着重要作用。与降水量、相对湿度在 0.01 显著性检验水平上呈正相关,降水量增加、空气相对湿度增大,湿润指数随之增加。与平均风速呈现为负相关,相关系数在

-0.299 以上,尤其是冬季相关系数为 -0.554 ,且通过 0.01 显著性检验。同时,湿润指数与气温平均日较差也具有很高的负相关程度,相关系数在 -0.659 以上(通过 0.01 显著性检验),夏季达 -0.849 。可见,平均日较差在湿润指数增加趋势中可能也起着重要作用。从相关程度分析来看,降水量、相对湿度的增加和气温日较差的显著减少对湿润指数的增加起着最主要的作用,其次是日照时数和风速的减少。

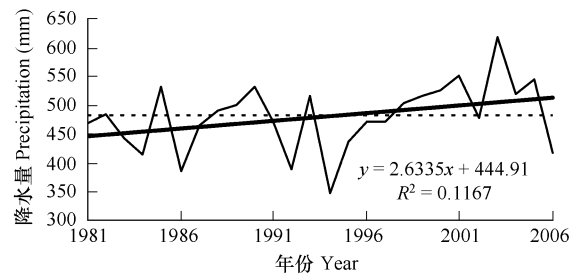


图 5 近 26 年藏北牧区年降水量的变化

Fig. 5 Variation of annual precipitation in Northern Tibet during the period of 1981 – 2006

折线为历年值,点线为多年平均值,粗斜线为趋势值 break line-original value, dot line-mean value, black slope line-linear trend value

表 3 藏北牧区地表湿润指数与各要素的相关系数

Table 3 Correlation coefficient between humidity index and meteorological elements in Northern Tibet

季节 Season	日照时数 Sunshine duration	平均风速 Mean wind speed	相对湿度 Relative humidity	平均气温 Mean temperature	平均最高气温 Mean maximum temperature	平均最低气温 Mean minimum temperature	平均日较差 Daily temperature range	降水量 Precipitation
春季 Spring	-0.586	-0.386	0.762	-0.417	-0.546	0.130	-0.684	0.984
夏季 Summer	-0.798	-0.299	0.798	-0.132	-0.451	0.419	-0.849	0.975
秋季 Autumn	-0.741	-0.402	0.660	-0.099	-0.391	0.370	-0.745	0.957
冬季 Winter	-0.372	-0.554	0.823	-0.472	-0.686	-0.163	-0.659	0.966
年 Annual	-0.689	-0.468	0.718	0.094	-0.155	0.342	-0.546	0.943

黑体数字表示未通过 0.10 以上显著性检验水平 The black number is insignificant with $p < 0.10$

以上分析表明,在藏北牧区湿润指数对降水量、相对湿度和气温日较差的响应最为敏感,对日照时数和风速的响应也较为明显。

4 小结

总结全文可以得出以下结论:(1)近 46a 藏北牧区年地表湿润指数表现为不同程度的增大趋势,增幅为 $0.01 \sim 0.05/10a$,以安多增幅最大。四季地表湿润指数大部分牧区也呈现为增大趋势,春、秋季增幅较为明显。近 26a(1981 ~ 2006 年)、季地表湿润指数增大的趋势在加大,以夏季最为突出。

(2)就年平均而言,藏北牧区 20 世纪 60 年代初、中期主要表现为以高湿低温为主的气候特征;60 年代后期至 80 年代中期,气温偏低,地表湿润指数为负距平,表现为冷干型的气候特征;80 年代后期到 90 年代初,藏北牧区呈现为高温低湿特征;之后,气温持续升高,地表湿润指数显著增加,此时期藏北牧区表现为以暖湿为主的年代际变化特征。

(3)近 46a 藏北牧区年潜在蒸散表现为不显著的减少趋势,各季节变化趋势不明显。但近 26a 四季潜在蒸散呈明显的减少趋势,年潜在蒸散以 $-38.9 \text{ mm}/10a$ 的速率显著减少;春、夏季降水量的增加趋势有所加大,平均每 10a 分别增加 9.7mm 和 13.4mm ,年降水量也以 $26.3\text{mm}/10a$ 的速率明显增加。近 46a 年平均气温为显著的升温趋势,达 $0.26^\circ\text{C}/10a$;年、季平均气温日较差有明显的变小趋势。

以上分析表明,藏北牧区年、季潜在蒸散减小,降水量增加,地表湿润指数增大,气候环境有暖湿化的迹象,环境水热要素指数相对提高,较利于生态环境的改善,尤其对于干旱半干旱的西部草地荒漠化过程有抑制作用。

(4)在全球变化的背景下,藏北牧区湿润指数对降水量、相对湿度和气温日较差的响应最为敏感,而对日照时数和风速的响应也较为明显。

References:

- [1] IPCC. Summary for Policymakers of Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] Wu S H, Yin Y H, Zheng D, *et al.* Research on terrestrial surface dry-wet conditions over China in recent 30years. *Sciences in China*, 2005, 35 (3): 276—283.
- [3] Ma Z G, Huang G, Gan W Q, *et al.* Multi-scale temporal characteristics of the dryness/wetness over northern China during the last century. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2005, 29(15): 671—681.
- [4] Yang J P, Ding Y J, Chen R S, *et al.* The fluctuation of dry and wet climate boundary and its causal analyses in China. *Acta Meteorologica Sinica*, 2003, 61(3): 364—373.
- [5] Wu S H, Yin Y H, Zheng D, *et al.* Climate changes in the Tibetan Plateau during the last three decades. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60 (1): 3—11.
- [6] Wang L, Xie X Q, Li Y S, *et al.* Changes of humid index and border line of wet and dry climate zone in North China over the past 40 years. *Geographical Research*, 2004, 23(1): 45—54.
- [7] Ma Z G, Fu C B. Trend of surface humid index in the arid area of northern China. *Acta meteorologica Sinica*, 2001, 59(6): 737—746.
- [8] Jin L Y, Li J, Wang X, *et al.* The temporal and spatial distribution of surface dry-wet conditions over northern China in recent 50 years. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(6): 847—854.
- [9] Sun F H, Yuan J. Recent 40 years inter-decadal fluctuation of dry and wet climate boundary and its cause in Liaoning Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(7): 1274—1279.
- [10] Du J, Hu J, Chen H, *et al.* Trend of surface humid index in middle reaches of the Yalung Zangbu River over Tibet in recent 40 years. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(2): 196—204.
- [11] Wang J, Huang Q H, Bai C G, *et al.* Tendency of the Quaternary Climatic Change in Qaidam Basin and Its Causal Mechanism, *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(1): 34—38.
- [12] Ma Z G. Dry/wet variation and its relationship with regional warming in arid-regions of northern China. *Chinese Journal of Geophysics*, 2005, 48 (5): 1011—1018.
- [13] Shang Z B, Gao Q. Assessing the sensitivity of China water condition to global climate changes. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(4): 528—537.
- [14] Li G L, Xu Y, Qian W H. Dry and wet climate changes of western China in recent 300 years. *Plateau Meteorology*, 2003, 22(4): 371—377.
- [15] Sun H L. The Tibetan Plateau's formation and evolution. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1996. 1—383.
- [16] Zuo D K, Wang Y X, Chen J S. Spatial distribution characteristics of solar radiation in China. In: Zheng Du (ed.). *Zuo Dakang's geographical research papers*. Beijing: Science Press, 1993. 168—185.

参考文献:

- [2] 吴绍洪,尹云鹤,郑度,等. 近 30 年中国陆地表层干湿状况研究. *中国科学(D 辑)*, 2005, 35(3): 276~283.
- [3] 马柱国,黄刚,甘文强,等. 近代中国北方干湿变化趋势的多时段特征. *大气科学*, 2005, 29(15): 671~681.
- [4] 杨建平,丁永建,陈仁升,等. 近 50 年中国干湿气候界线波动及其成因初探. *气象学报*, 2003, 61(3): 364~373.
- [5] 吴绍洪,尹云鹤,郑度,等. 青藏高原近 30 年气候变化趋势. *地理学报*, 2005, 60(1): 3~11.
- [6] 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. *地理研究*, 2004, 23(1): 45~54.
- [7] 马柱国,符滨滨. 中国北方干旱区地表湿润状况的趋势分析. *气象学报*, 2001, 59(6): 737~746.
- [8] 靳立亚,李静,王新,等. 近 50 年来中国西北地区干湿状况时空分布. *地理学报*, 2004, 59(6): 847~854.
- [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. *应用生态学报*, 2006, 17(7): 1274~1279.
- [10] 杜军,胡军,陈华,等. 雅鲁藏布江中游地表湿润状况的趋势分析. *自然资源学报*, 2006, 21(2): 196~204.
- [11] 王建,黄巧华,柏春广,等. 2.5Ma 以来柴达木盆地的气候干湿变化特征及其原因. *地理科学*, 2002, 22(1): 34~38.
- [12] 马柱国. 我国北方干湿演变规律及其与区域增暖的可能联系. *地球物理学报*, 2005, 48(5): 1011~1018.
- [13] 尚宗波,高琼. 中国水分状况对全球气候变化的敏感性分析. *生态学报*, 2001, 21(4): 528~537.
- [14] 李弋林,徐袁,钱维宏. 近 300 年来中国西部气候的干湿变化. *高原气象*, 2003, 22(4): 371~377.
- [15] 孙鸿烈. 青藏高原的形成演化. 上海: 上海科技出版社, 1996. 1~383.
- [16] 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. 见: 郑度主编,左大康地理研究论文选. 北京: 科学出版社, 1993. 168~185.