

doi:10.3799/dqkx.2010.027

祁连山及河西走廊地表干湿变化的时空分布

贾文雄^{1,2,3}, 何元庆², 李宗省^{2,3}, 王旭峰^{2,3}

1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃兰州 730070

2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 冰冻圈科学国家重点实验室(丽江站), 甘肃兰州 730000

3. 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘要: 利用 20 个气象站 1960—2006 年的逐日气象资料, 采用 FAO Penman-Monteith 模型, 计算出祁连山及河西走廊各气象站的月潜在蒸发量, 在此基础上计算各气象站的月湿润指数, 然后进行季节、年地表湿润指数的统计, 进而对研究区地表干湿状况的时空变化进行分析。结果表明: 祁连山及河西走廊在 20 世纪 80 年代之前地表相对干旱, 之后相对湿润, 自 60 年代以来地表湿润指数有逐年增大的趋势; 年地表湿润指数的年际变化率为 $0.0014 a^{-1}$, 相关系数为 0.4281, 通过了 0.01 的置信度检验, 表明地表湿润状况有明显改善, 其中春季和冬季增加趋势明显, 夏季增加趋势和秋季减小趋势不太明显。地表干湿变化趋势在空间上有差异, 东部表现为东西差异, 自东向西逐渐变湿, 乌鞘岭以东呈变干趋势, 其他大部分地区显著变湿, 中部大部分地区呈不明显的变干趋势, 而托来南山以北地区显著变干, 张掖绿洲显著变湿, 西部除敦煌以西呈不显著的变湿趋势, 其他大部分地区显著变湿。

关键词: 湿润指数; 年代际变化; 年际变化; 祁连山; 河西走廊; 水文地质学。

中图分类号: X144; X16

文章编号: 1000-2383(2010)02-0268-09

收稿日期: 2008-12-23

Temporal and Spatial Characteristics of Dry-Wet Conditions from 1960 to 2006 in Qilian Mountains and Hexi Corridor

JIA Wen-xiong^{1,2,3}, HE Yuan-qing², LI Zong-xing^{2,3}, WANG Xu-feng^{2,3}

1. College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

2. State Key Laboratory of Cryosphere Science/Lijiang Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Based on the climatic data of 20 weather stations from 1960 to 2006, the monthly potential evaporation was calculated using the Penman-Monteith model, and then the monthly humid index was reconstructed in Qilian Mountains and Hexi Corridor. In order to study the temporal and spatial characteristics of the dry-wet conditions in the study area, the seasonal and annual humid indices were analyzed. Statistical results indicate that the study area was drier before 1980s, and the humid index has been on the rise since 1960s. The change rate of annual humid index was $0.0014 a^{-1}$, which indicates that the humid condition of study area has become better obviously, especially in spring and winter. The spatial change of dry-wet conditions of the study area shows that it is becoming wetter from eastern to western parts in east region with an exception of the eastern area of Wushaoling Mountains which is becoming drier; for most middle region, it is also becoming drier insignificantly except for the northern area of Shule South Mountains and Zhangye oasis, and, it is becoming wetter in most western region except for the western area of Dunhuang City where it is becoming wetter insignificantly.

Key words: humid index; interdecadal variation; interannual variation; Qilian Mountains; Hexi Corridor; hydrogeology.

基金项目: 国家重点基础研究发展“973”计划(No. 2007CB411201); 国家自然科学基金项目(No. 40971019); 中国科学院“西部之光”人才培养计划“西部博士资助项目”(No. O828A11001); 西北师范大学青年教师基金(No. NWNNU-LKQN-08-03); 西北师范大学自然地理学省级重点学科资助。

作者简介: 贾文雄(1974—), 男, 副教授, 博士研究生, 主要从事冰川水文学及气候变化研究。E-mail: wxjiaxy@163.com

祁连山和河西走廊是两个不同的自然地理单元,是水資源这一纽带将它们紧紧地联系在一起,从而成为内陆干旱地区研究的热点区域.在全球变暖背景下,我国近百年来气温上升 $0.4\sim 0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,近 50 年来增温尤其明显(王绍武等,1998;王遵娅等,2004;任国玉等,2005),而降水量呈减少趋势,不过西部降水量增加趋势明显,其中西北地区最为明显(叶柏生等,2004;靳立亚等,2005).一般认为,气温升高会加快地表蒸发,使地表干旱程度加剧,而降水增多会改善土壤水分,在一定程度上缓解地表的干旱状况.我国蒸发量整体上呈减小趋势(尹云鹤等,2005;高歌等,2006;曾燕等,2007),其中西北、青藏和西南地区减小趋势显著(靳立亚等,2004;吴绍洪等,2005),而且蒸发量的减小与太阳辐射、相对湿度或风速有关(靳立亚等,2004;尹云鹤等,2005).地表的干湿状况取决于大气降水和蒸发,在降水增多的地区未必就变湿,而降水减少的地区也未必就变干(马柱国和任小波,2007).河西地区的年平均气温呈上升趋势,中西部降水增加趋势明显(陈仁升等,2002);黑河上游地区的年平均气温呈上升趋势,秋冬季节变暖明显,降水也呈增加趋势,夏季降水增加明显(蓝永超等,2004;张杰和李栋梁,2004);近 35 年来,黑河中游平原区的潜在蒸发量总体呈减小趋势(程玉菲等,2007).祁连山及河西走廊东西经度跨越约 10° ,东部受西南和东南夏季风的影响,西部受西风环流的控制,中部处于两种环流系统的交汇处,再加上青藏高原季风的影响,局地气候变化比较复杂.在地质历史时期,中纬度西风和东亚季风的强弱变化对西北地区的气候产生重要影响(罗超等,

2008;万世明等,2008).东亚夏季风强度在 1980 年开始加强,印度夏季风在 1987 年以后也明显增强,而中纬度西风强度在 1964 年开始加强(杨建平等,2003).近 50 年来,祁连山及河西走廊的气温和降水呈增加趋势,增加幅度表现出明显的空间差异(贾文雄等,2008).气候变化导致地表湿润状况改变,进而对地表水资源产生重要影响(郝振纯等,2007).西北地区的西部地表湿润指数呈增加趋势,与降水量增加和蒸发量减小有关(王菱等,2004).在气温升高和降水量增加的背景下,祁连山及河西走廊的地表干湿状况如何变化有待于深入研究.本文旨在研究祁连山及河西走廊地表干湿变化的时空分布特征,为河川径流变化研究、生态环境建设、绿洲农业结构调整、水资源合理利用提供重要的科学依据.

1 资料与方法

利用祁连山和河西走廊 20 个气象站(图 1) 1960—2006 年的日平均气温、日最高气温、日最低气温、日照时数、日平均相对湿度、日平均风速等气象观测资料,计算了各气象站的日潜在蒸发量.在此基础上,利用月降水资料和月潜在蒸发量,计算月地表湿润指数,然后进行季节、年地表湿润指数的统计.在数据处理之后,利用一元回归分析法进行地表干湿变化的趋势分析,并在 ArcGIS 环境下通过 Spline 插值法绘制地表湿润指数变化的空间分布图,进行地表干湿状况的空间差异分析.

湿润指数的计算有不同方法(马柱国和符淙斌,2001;杨莲梅,2003;马柱国和邵丽娟,2006;刘波和

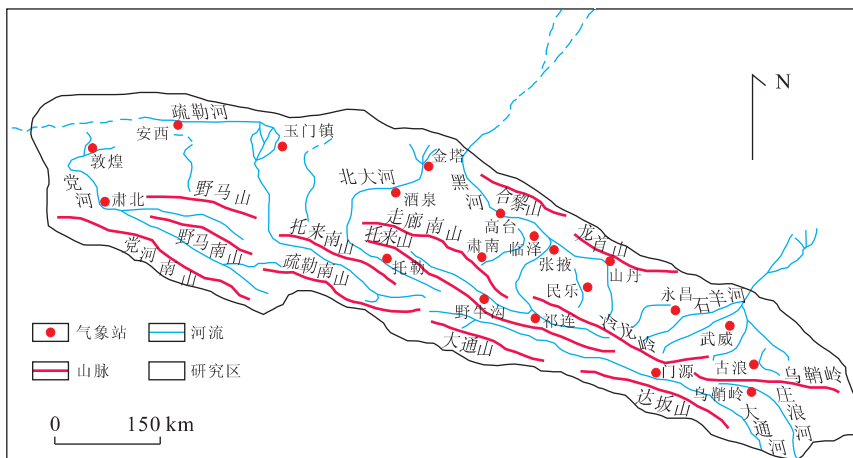


图 1 祁连山及河西走廊气象站点的分布

Fig. 1 Distribution of weather stations in Qilian Mountains and Hexi corridor

马柱国,2007;王越等,2007)。本文采用以下最常用的方法来计算地表湿润指数:

$$H = \frac{P}{ET_0}, \quad (1)$$

式中: H 为月地表湿润指数; P 为月降水量; ET_0 为月潜在蒸发量。

估算潜在蒸发量的模型有很多种,其中最常用的有 Penman 模型、Thornthwaite 模型和 Selianinov 模型(吴绍洪等,2005)。本文采用世界粮农组织 1998 年修正的 Penman-Monteith 模型。已有研究成果表明,该模型的模拟效果是比较精确的(毛飞等,2000;刘绍民等,2003;张东等,2005)。计算公式如下:

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

式中: ET_0 为潜在蒸发量($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$); R_n 为净辐射($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); G 为土壤热通量($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); γ 为干湿常数($\text{kPa} \cdot \text{C}^{-1}$); Δ 为饱和水汽压曲线斜率($\text{kPa} \cdot \text{C}^{-1}$); U_2 为 2 m 高处的风速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); e_s 为平均饱和水汽压(kPa); e_a 为实际水汽压(kPa); T 为平均气温(C)。

2 多年平均干湿状况的空间分布

祁连山及河西走廊多年平均湿润指数在 0.00~1.25 之间(图 2),从南到北呈减小趋势,南部山区相对湿润,北部走廊平原相对干旱,这与降水的空间分布规律基本一致。南部山区的湿润指数在 0.25~1.25 之间,其中托来山、冷龙岭和乌鞘岭以南的湿润指数在 0.50~1.25 之间,大通山、达坂山以南的湿润指数在 1.00~1.25 之间。相比较而言,山脉南坡的湿润指数高于北坡,这是因为南坡比北坡截获了更多西南季风带来的水汽,导致地表的湿润状况相对较好。北部走廊平原的湿润指数在 0.00~0.25 之间,地表相对干旱,其中玉门、安西以北及敦煌以西的湿润指数在 0.00~0.05 之间,地表非常干旱,这与降水量少、蒸发量旺盛有关。

祁连山及河西走廊的地表干湿状况主要表现为南北差异,同时也表现出东西差异,即从东到西地表湿润程度减小,干旱程度增加。如北部走廊平原东部(武威、永昌)、中部(山丹、张掖、临泽、高台、酒泉、金塔)、西部(玉门、安西、敦煌)的平均湿润指数分别为

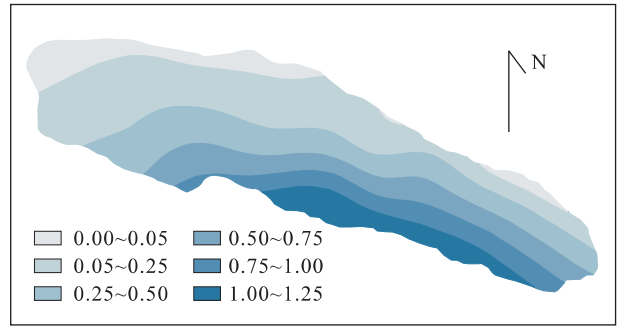


图 2 1960—2006 年平均地表湿润指数的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of the average humid index of study area from 1960 to 2006

0.25、0.14、0.05,南部浅山地带东部(古浪)、中部(民乐、肃南)、西部(肃北)的平均湿润指数分别为 0.43、0.41、0.14,南部中、高山地带东部(乌鞘岭)、中部(祁连、野牛沟、托勒)的平均湿润指数分别为 0.60、0.59,从东到西湿润指数均表现为减小趋势。

3 地表干湿状况的年代际变化特征

3.1 年代际变化

在 20 世纪 60、70 年代,祁连山及河西走廊的年湿润指数(20 个气象站的平均值,以下各季节同)为负距平,80、90 年代和 2000—2006 年为正距平,自 60 年代以来湿润指数有逐年增大的趋势(表 1),表明在 80 年代之前地表相对干旱,之后相对湿润,且地表有逐年变湿的趋势。就季节而言,春季和冬季的湿润指数与年湿润指数的变化趋势一致,特别是 2000 年以来地表较大程度地变湿。夏季的湿润指数在 60 年代为负距平,70 年代持平,80、90 年代为正距平,2000—2006 年又为负距平,表明地表 60 年代相对干旱,80、90 年代相对湿润,2000 年以后又相对干旱。秋季的湿润指数在 60、70 年代为正距平,80、90 年代为负距平,2000—2006 年又为正距平,表明在 60、70 年代地表相对湿润,80、90 年代相对干旱,

表 1 季节、年地表湿润指数的年代际距平

Table 1 Interdecadal departure of the seasonal and annual humid index of study area

	春季	夏季	秋季	冬季	全年
1960s	-0.02	-0.06	0.04	-0.02	-0.03
1970s	-0.06	0.00	0.05	-0.03	-0.01
1980s	0.00	0.03	-0.03	0.01	0.01
1990s	0.03	0.03	-0.06	0.01	0.01
2000s	0.06	-0.01	0.01	0.05	0.02

2000 年以后又相对湿润,这一变化趋势与夏季相反。尽管地表湿润指数的季节变化略有不同,但祁连山及河西走廊的地表干湿状况总体上为变湿趋势,表明在全球变暖背景下,该区地表干湿状况有一定的改善。

3.2 年代际变化的空间分布

祁连山及河西走廊的地表干湿状况在不同年代其变化特征有所不同,并在空间上呈现出一定差异(图 3)。60 年代,南部山区及北部走廊平原均略偏干旱,湿润指数距平在 $-0.05 \sim 0.00$ 之间,从南到北干旱程度减弱;东部冷龙岭、乌鞘岭以南和西部野马南山以南偏干旱明显,湿润指数距平在 $-0.15 \sim -0.05$ 之间;仅乌鞘岭以北偏湿润,湿润指数距平在 $0.00 \sim 0.10$ 之间。70 年代,从南部山区到北部走廊平原干旱程度减弱;南部山区偏干旱,湿润指数距平在 $-0.20 \sim 0.00$ 之间,其中疏勒南山、托来山、冷龙岭和乌鞘岭以南偏干旱明显,湿润指数距平在 $-0.20 \sim -0.05$ 之间;北部走廊平原大部分地区略偏湿润,湿润指数距平在 $0.00 \sim 0.05$ 之间,其中乌鞘岭以北偏湿明显,湿润指数距平在 $0.05 \sim 0.15$ 之间。80 年代,从南部山区到北部走廊平原干旱程度增加;南部山区偏湿润,湿润指数距平在 $0.00 \sim 0.30$ 之间,其中疏勒南山、托来山、冷龙岭和乌鞘岭

以南偏湿明显,湿润指数距平在 $0.05 \sim 0.30$ 之间;北部走廊平原偏干旱,湿润指数距平在 $-0.20 \sim 0.00$ 之间,其中乌鞘岭以北的沙漠地区偏干旱明显,湿润指数距平在 $-0.20 \sim -0.05$ 之间。90 年代,地表干湿状况比较复杂;南部大部分地区略偏干旱,湿润指数距平在 $-0.05 \sim 0.00$ 之间,乌鞘岭以南干旱较明显,湿润指数距平在 $-0.10 \sim -0.05$ 之间,但冷龙岭以南偏湿润,湿润指数距平在 $0.00 \sim 0.10$ 之间;北部走廊平原略偏湿润,湿润指数距平在 $0.00 \sim 0.05$ 之间。2000—2006 年,地表干湿状况也比较复杂;南部山区偏湿润,湿润指数在 $0.00 \sim 0.10$ 之间,其中冷龙岭以南偏湿明显,湿润指数距平在 $0.05 \sim 0.10$ 之间;走廊平原大部分地区略偏干旱,湿润指数距平在 $-0.05 \sim 0.00$ 之间。总体上,祁连山及河西走廊地表干湿状况变化在 60、70、80 年代表现出南北差异,而 90 年代以后既表现出南北差异,也表现出东西差异,这一点在东部和西部表现比较明显。

4 地表干湿状况的年际变化特征

4.1 年际变化

祁连山及河西走廊的年湿润指数(20 个气象站的平均值,以下各季节同)呈波状增加的趋势(图

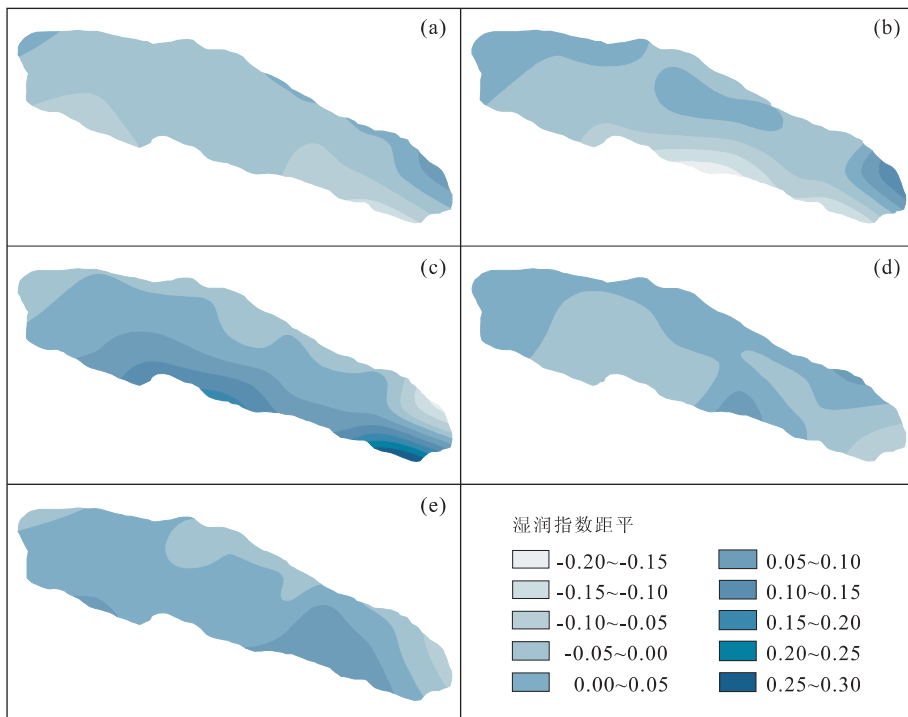


图 3 1960s(a),1970s(b),1980s(c),1990s(d)及 2000—2006 年(e)地表湿润指数距平的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of the humid index departure in different years

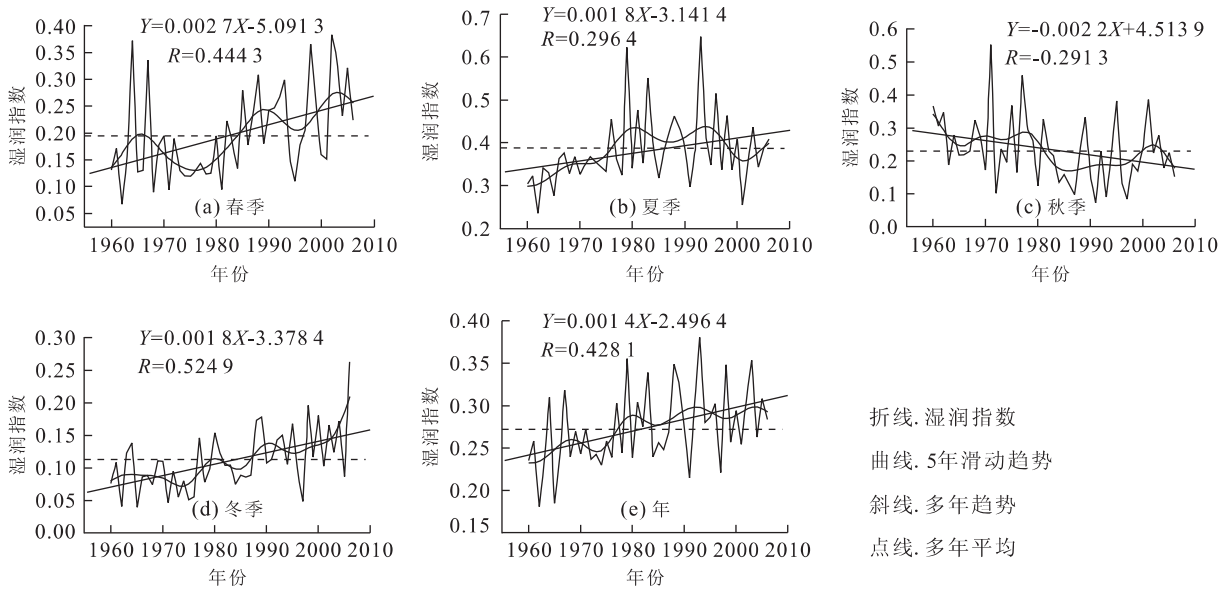


图 4 地表湿润指数的年际变化趋势(1960—2006 年)

Fig. 4 Interannual change trends of the humid index from 1960 to 2006 in different seasons and years

4); 在 1977 年之前湿润指数为负距平, 之后为正距平, 表明在 1977 年之前地表相对干旱, 之后相对湿润. 就季节而言, 湿润指数的年际变化有所不同. 春季, 湿润指数在 70 年代初之前增大, 之后大幅度下降, 1977 年之后呈波状上升趋势; 在 1983 年之前湿润指数为负距平, 之后为正距平, 表明在 80 年代初之前相对干旱, 之后相对湿润. 夏季, 湿润指数在 80 年代初之前增大, 之后减小, 1987 年之后又增大, 1995 年之后又减小, 2000 年以后又增大; 1986—1998 年湿润指数为正距平, 其他时段为负距平, 表明这一时期相对湿润, 之前和之后相对干旱. 秋季, 湿润指数在 80 年代中期之前呈波状下降趋势, 之后波状上升趋势, 2001 年以后又呈下降趋势; 在 1981 年之前湿润指数为正距平, 之后为负距平, 表明在 80 年代初之前相对湿润, 之后相对干旱. 冬季, 湿润指数在 1974 年之前变化平稳, 之后呈波状上升趋势, 特别是 2000 年以后显著上升; 在 1987 年之前湿润指数为负距平, 之后为正距平, 表明在 80 年代中期之前相对干旱, 之后相对湿润.

祁连山及河西走廊年湿润指数的年际变化率为 0.0014 a^{-1} , 相关系数为 0.4281, 通过了 0.01 的置信度检验, 表明在全球变暖背景下, 该区地表湿润状况有明显改善. 春、夏、秋、冬季湿润指数的年际变化率分别为 0.0027 、 0.0018 、 -0.0022 、 0.0018 a^{-1} , 表明秋季湿润指数呈下降趋势, 其他季节呈上升趋势, 其中春季增加幅度最大. 冬季和夏季湿润指数的

增加幅度虽相差不大, 但冬季湿润指数较小, 相比较而言, 冬季湿润指数的增加幅度比夏季大. 春、夏、秋、冬季湿润指数年际变化的相关系数分别为 0.4443、0.2964、 -0.2913 、0.5249, 分别通过了 0.01、0.05、0.05、0.01 的置信度检验, 表明祁连山及河西走廊的地表湿润状况在春季和冬季增加趋势明显, 而夏季增加趋势和秋季减小趋势不太明显.

4.2 年际变化的空间分布

祁连山及河西走廊的地表干湿状况变化表现出一定的区域差异, 其年际变化趋势及其显著性在空间上有所不同(图 5, 图 6).

春季, 南部山区和北部走廊平原绝大部分地区表现为变湿趋势, 湿润指数的年际变化率在 $0.0000 \sim 0.0050 \text{ a}^{-1}$ 之间. 东部表现为东西差异, 自东向西逐渐变湿, 除乌鞘岭以东呈变干趋势外, 大部分地区显著变湿, 其中冷龙岭以南最明显, 湿润指数的年际变化率在 $0.0075 \sim 0.0150 \text{ a}^{-1}$ 之间. 中部表现为南北差异, 疏勒南山和托来南山地区呈变干趋势, 湿润指数的年际变化率在 $-0.0050 \sim 0.0000 \text{ a}^{-1}$ 之间, 其他地区呈不明显的变湿趋势, 而张掖绿洲显著变湿, 湿润指数的年际变化率在 $0.0025 \sim 0.0050 \text{ a}^{-1}$ 之间. 西部表现为东西差异, 自东向西变湿增强, 其中党河南山的中西部最明显, 湿润指数的年际变化率在 $0.0025 \sim 0.0050 \text{ a}^{-1}$ 之间.

夏季, 南部山区和北部走廊平原均呈不明显的变湿趋势, 湿润指数的年际变化率在 $0.0000 \sim$

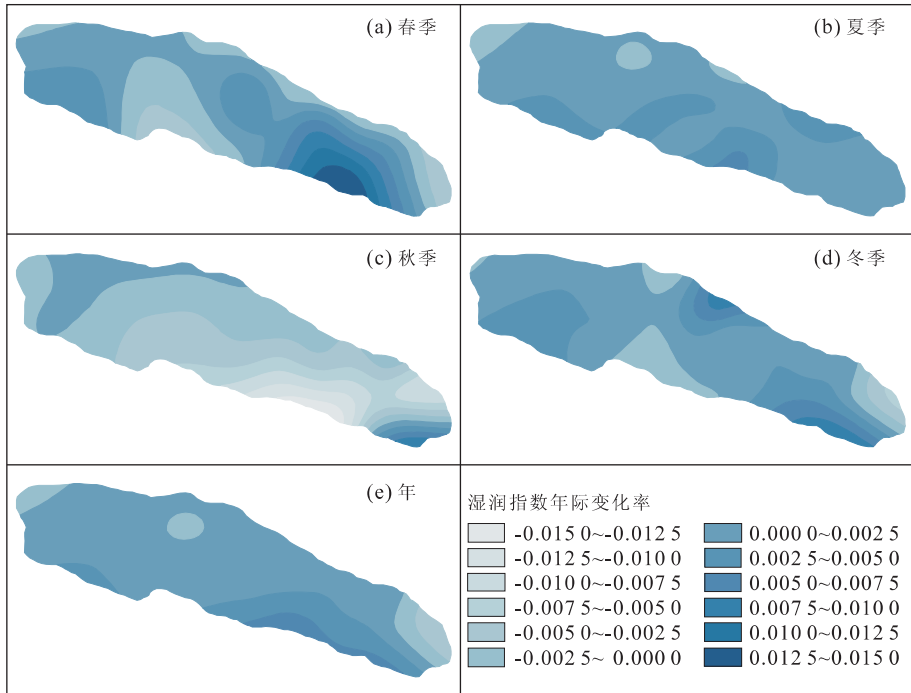


图 5 地表湿润指数年际变化趋势的空间分布(1960—2006 年)

Fig. 5 Spatial distribution of the interannual change trends of the humid index from 1960 to 2006 in different seasons and years

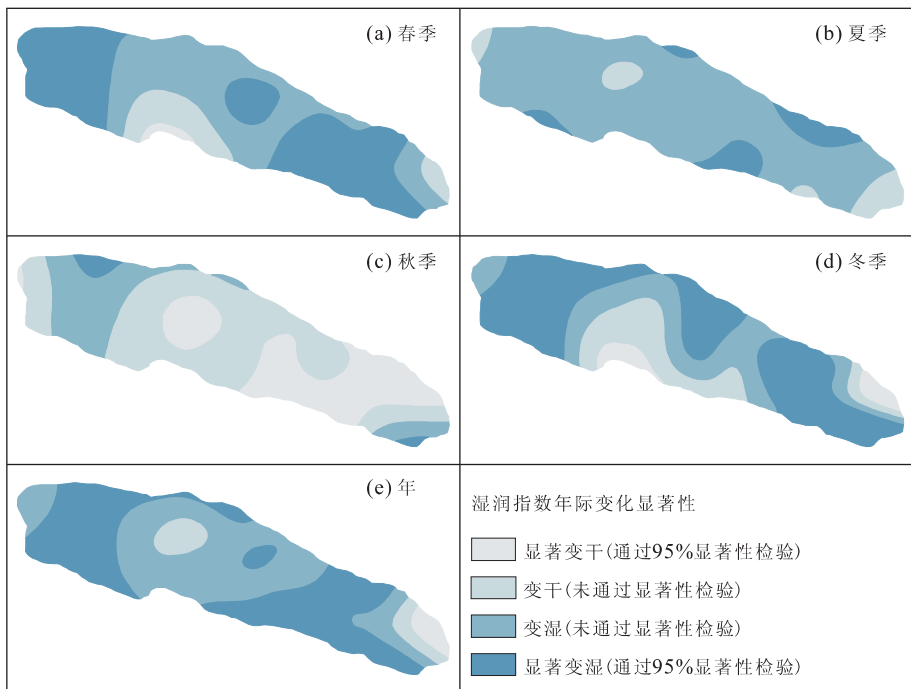


图 6 地表湿润指数年际变化显著性的空间分布(1960—2006 年)

Fig. 6 Spatial distribution of the interannual change significance of the humid index from 1960 to 2006 in different seasons and years

0.002 5 a⁻¹之间,其中党河南山、冷龙岭以南的大通河谷及武威绿洲显著变湿,湿润指数的年际变化率在 0.002 5~0.007 5 a⁻¹之间,而敦煌以西呈不明显的变干趋势,湿润指数的年际变化率在-0.002 5~

0.000 0 a⁻¹之间.

秋季,南部山区和北部走廊平原绝大部分地区表现为变干趋势,湿润指数的年际变化率在-0.007 5~0.000 0 a⁻¹之间.东部表现为东西差

异,自东向西逐渐变干,除乌鞘岭以南呈变湿趋势外,湿润指数的年际变化率在 $0.0025 \sim 0.0100 \text{ a}^{-1}$ 之间,其他地区显著变干,湿润指数的年际变化率在 $-0.0150 \sim -0.0050 \text{ a}^{-1}$ 之间.中部除托来南山以北显著变干外,其他地区呈不明显的变干趋势,湿润指数的年际变化率在 $-0.0050 \sim 0.0000 \text{ a}^{-1}$ 之间;西部除敦煌以西呈不明显的变干趋势外,其他大部分地区呈不明显的变湿趋势,湿润指数的年际变化率在 $0.0000 \sim 0.0025 \text{ a}^{-1}$ 之间.

冬季,南部山区和北部走廊平原大部分地区呈现变湿趋势,湿润指数的年际变化率在 $0.0000 \sim 0.0050 \text{ a}^{-1}$ 之间.东部既表现为东西差异,又表现为南北差异,除乌鞘岭以北呈变干趋势外,湿润指数的年际变化率在 $-0.0075 \sim -0.0025 \text{ a}^{-1}$ 之间,其他地区显著变湿,其中乌鞘岭以南的大通河谷和达坂山最明显,湿润指数的年际变化率在 $0.0025 \sim 0.0100 \text{ a}^{-1}$ 之间.中部表现为南北差异,南部山区呈变干趋势,其中疏勒南山以南显著变干,湿润指数的年际变化率在 $-0.0025 \sim 0.0000 \text{ a}^{-1}$ 之间,而走廊平原呈变湿趋势,其中黑河中游绿洲显著变湿,湿润指数的年际变化率在 $0.0025 \sim 0.0100 \text{ a}^{-1}$ 之间.西部表现为东西差异,除敦煌以西呈不明显的变湿趋势外,其他地区显著变湿,其中党河南山、野马山及野马南山以西最明显,湿润指数的年际变化率在 $0.0025 \sim 0.0050 \text{ a}^{-1}$ 之间.

全年,南部山区和北部走廊平原绝大部分地区表现为变湿趋势,湿润指数的年际变化率在 $0.0000 \sim 0.0050 \text{ a}^{-1}$ 之间.东部表现为东西差异,自东向西逐渐变湿,除乌鞘岭以东呈变干趋势外,湿润指数的年际变化率在 $-0.0050 \sim 0.0000 \text{ a}^{-1}$ 之间,其他大部分地区显著变湿,其中冷龙岭和乌鞘岭以南最明显,湿润指数的年际变化率在 $0.0025 \sim 0.0075 \text{ a}^{-1}$ 之间.中部除托来南山以北地区不明显变干,张掖绿洲显著变湿外,大部分地区呈不明显的变湿趋势,湿润指数的年际变化率在 $0.0000 \sim 0.0025 \text{ a}^{-1}$ 之间.西部表现为东西差异,自东向西变湿减弱,除敦煌以西呈不明显的变湿趋势外,其他大部分地区显著变湿,其中党河南山变湿最明显,湿润指数的年际变化率在 $0.0025 \sim 0.0050 \text{ a}^{-1}$ 之间.

5 结论

(1)自 20 世纪 60 年代以来,祁连山及河西走廊

的地表呈变湿趋势,80 年代之前相对干旱,之后相对湿润.祁连山及河西走廊地处西北内陆干旱地区,地表湿润程度的增加有积极作用,它会使内陆荒漠地区植被有更多生存机会,使脆弱的生态环境在自然状态下得到一定程度的恢复和改善.

(2)祁连山及河西走廊地表湿润指数的年际变化率为 0.0014 a^{-1} ,相关系数为 0.4281 ,通过了 0.01 的置信度检验,表明地表湿润状况有明显改善.在全球气候变暖背景下,西北地区的降水量增加趋势明显,而蒸发量减少趋势明显,降水和蒸发量的反向变化使西北地区的地表湿润程度有一定增加.祁连山及河西走廊对全球气候变暖响应比较明显,地表湿润程度有所增加,这种响应对生态环境的改善有积极意义.

(3)就季节而言,春季和冬季增加趋势明显,而夏季增加趋势和秋季减小趋势不太明显.夏季是植物生长最旺盛的季节,秋季也是植物生长的重要时期,这两个季节地表湿润程度的增加对植物的生长肯定是有利的.但是,祁连山及河西走廊的地表湿润状况在夏季没有明显改善,并且在秋季呈变干趋势,这种地表湿润状况的变化不会造成生态环境的明显改善.不过,春季和冬季地表湿润程度增加明显,这对植物的生长和生态环境的改善有积极作用.

(4)地表湿润状况年际变化的显著性在空间上有差异,东部和西部大部分地区显著变湿,而中部大部分地区呈不明显的变干趋势.祁连山及河西走廊东部受季风环流的影响,西部受西风环流的控制,其东部和西部地表显著变湿是对季风和西风势力增强的明显响应.

References

- Chen, R. S., Kang, E. S., Yang, J. P., et al., 2002. Variance tendency in the 50-year annual meteorological and hydrological series of Hexi region of Gansu Province. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 38 (2): 163–170 (in Chinese with English abstract).
- Cheng, Y. F., Wang, G. X., Xi, H. Y., et al., 2007. Variations of land evapotranspiration in the plain of the middle reaches of Heihe River in the recent 35 years. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 29 (3): 406–412 (in Chinese with English abstract).
- Gao, G., Chen, D. L., Ren, G. Y., et al., 2006. Trend of potential evapotranspiration over China during 1956 to 2000. *Geographical Research*, 25 (3): 378–387 (in Chinese with English abstract).

- Hao, Z. C., Li, L., Wang, J. H., et al., 2007. Impact of climate change on surface water resources. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(3): 425–432 (in Chinese with English abstract).
- Jia, W. X., He, Y. Q., Li, Z. X., et al., 2008. The regional difference and catastrophe of climatic change in Qilian Mt. region. *Acta Geographica Sinica*, 63(3): 257–269 (in Chinese with English abstract).
- Jin, L. Y., Fu, J. L., Chen, F. H., 2005. Spatial differences of precipitation over Northwest China during the last 44 years and its response to global warming. *Scientia Geographica Sinica*, 25(5): 567–572 (in Chinese with English abstract).
- Jin, L. Y., Li, J., Wang, X., et al., 2004. The temporal and spatial distribution of surface dry-wet conditions over northwestern China in recent 50 years. *Acta Geographica Sinica*, 59(6): 847–854 (in Chinese with English abstract).
- Lan, Y. C., Ding, Y. J., Kang, E. S., 2004. Variations and trends of temperature and precipitation in the mountain drainage basin of the Heihe River in recent 50 years. *Plateau Meteorology*, 23(5): 723–727 (in Chinese with English abstract).
- Liu, B., Ma, Z. G., 2007. Area change of dry and wet regions in China in the past 45 years. *Arid Land Geography*, 30(1): 7–15 (in Chinese with English abstract).
- Liu, S. M., Sun, Z. P., Li, X. W., et al., 2003. A comparative study on models for estimating evapotranspiration. *Journal of Natural Resources*, 18(2): 161–167 (in Chinese with English abstract).
- Luo, C., Peng, Z. C., Liu, W. G., et al., 2008. Evidence from the lacustrine sediments of Lop-Nur Lake, Northwest China for the Younger Dryas event. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 33(2): 190–196 (in Chinese with English abstract).
- Ma, Z. G., Fu, C. B., 2001. Trend of surface humid index in the arid area of northern China. *Acta Meteorologica Sinica*, 59(6): 737–746 (in Chinese with English abstract).
- Ma, Z. G., Ren, X. B., 2007. Drying trend over China from 1951 to 2006. *Advances in Climate Change Research*, 3(4): 195–201 (in Chinese with English abstract).
- Ma, Z. G., Shao, L. J., 2006. Relationship between dry/wet variation and the Pacific Decade Oscillation (PDO) in northern China during the last 100 years. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 30(3): 464–474 (in Chinese with English abstract).
- Mao, F., Zhang, G. Z., Xu, X. D., 2000. Several methods of calculating the reference evapotranspiration and comparison of their results. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 11(Suppl.): 128–136 (in Chinese with English abstract).
- Ren, G. Y., Xu, M. Z., Chu, Z. Y., et al., 2005. Changes of surface air temperature in China during 1951–2004. *Climatic and Environmental Research*, 10(4): 717–727 (in Chinese with English abstract).
- Wan, S. M., Li, A. C., Xu, K. H., et al., 2008. Characteristics of clay minerals in the northern South China Sea and its implications for evolution of East Asian monsoon since Miocene. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 33(3): 289–300 (in Chinese with English abstract).
- Wang, L., Xie, X. Q., Li, Y. S., et al., 2004. Changes of humid index and borderline of wet and dry climate zone in northern China over the past 40 years. *Geographical Research*, 23(1): 45–54 (in Chinese with English abstract).
- Wang, S. W., Ye, J. L., Gong, D. Y., et al., 1998. Construction of mean annual temperature series for the last one hundred years in China. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 9(4): 392–401 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y., Jiang, Z. H., Zhang, Q., et al., 2007. Comparative study of Palmen's moisture anomaly index and Z index. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 30(3): 383–389 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Z. Y., Ding, Y. H., He, J. H., et al., 2004. An updating analysis of the climate change in China in recent 50 years. *Acta Meteorologica Sinica*, 62(2): 228–236 (in Chinese with English abstract).
- Wu, S. H., Yin, Y. H., Zheng, D., et al., 2005. Climate changes in the Tibetan plateau during the Last three decades. *Acta Geographica Sinica*, 60(1): 3–11 (in Chinese with English abstract).
- Yang, J. P., Ding, Y. J., Chen, R. S., 2003. The fluctuation of dry and wet climate boundary and its causal analyses in China. *Acta Meteorologica Sinica*, 61(3): 364–373 (in Chinese with English abstract).
- Yang, L. M., 2003. Response of climate change in Taklimakan desert area to global warming. *Journal of Desert Research*, 23(5): 497–502 (in Chinese with English abstract).
- Ye, B. S., Li, C., Yang, D. Q., et al., 2004. Variation trend of precipitation and its impact on water resources in China during last 50 years (I): annual variation. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 26(5): 587–594

(in Chinese with English abstract).

- Yin, Y. H., Wu, S. H., Zheng, D., et al., 2005. The regional differences of dry-wet change in China in recent 30 years. *Chinese Science Bulletin*, 50(15):1636—1642 (in Chinese).
- Zeng, Y., Qiu, X. F., Liu, C. M., et al., 2007. Changes of pan-evaporation in China in 1960—2000. *Advances in Water Science*, 18(3):311—318 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, D., Zhang, W. C., Xu, Q. Z., 2005. Comparison and modification of evapotranspiration estimation method in upper Hanjiang basin. *Resources Science*, 27(1):97—103 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J., Li, D. L., 2004. Analysis on distribution character of rainfall over Qilian Mountain and Heihe valley. *Plateau Meteorology*, 23(1):81—88 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈仁升, 康尔泗, 杨建平, 等, 2002. 甘肃河西地区近 50 年气象和水文序列的变化趋势. 兰州大学学报(自然科学版), 38(2):163—170.
- 程玉菲, 王根绪, 席海洋, 等, 2007. 近 35 年来黑河干流中游平原区陆面蒸散发的变化研究. 冰川冻土, 29(3):406—412.
- 高歌, 陈德亮, 任国玉, 等, 2006. 1956—2000 年中国潜在蒸散量变化趋势. 地理研究, 25(3):378—387.
- 郝振纯, 李丽, 王加虎, 等, 2007. 气候变化对地表水资源的影响. 地球科学——中国地质大学学报, 32(3):425—432.
- 贾文雄, 何元庆, 李宗省, 等, 2008. 祁连山区气候变化的区域差异特征及突变分析. 地理学报, 63(3):257—269.
- 靳利亚, 符娇兰, 陈发虎, 2005. 近 44 年来中国西北降水量变化的区域差异以及对全球变暖的响应. 地理科学, 25(5):567—572.
- 靳利亚, 李静, 王新, 等, 2004. 近 50 年来中国西北地区干湿状况时空分布. 地理学报, 59(6):847—854.
- 蓝永超, 丁永建, 康尔泗, 2004. 近 50 年来黑河山区汇流区温度及降水变化趋势. 高原气象, 23(5):723—727.
- 刘波, 马柱国, 2007. 过去 45 年中国干湿气候区域变化特征. 干旱区地理, 30(1):7—15.
- 刘绍民, 孙中平, 李小文, 等, 2003. 蒸散量测定与估算方法的对比研究. 自然资源学报, 18(2):161—167.
- 罗超, 彭子成, 刘卫国, 等, 2008. 新仙女木事件在罗布泊湖相

沉积物中的记录. 地球科学——中国地质大学学报, 33(2):190—196.

- 马柱国, 符淙斌, 2001. 中国北方干旱区地表湿润状况的趋势分析. 气象学报, 59(6):737—746.
- 马柱国, 任小波, 2007. 1951—2006 年中国区域干旱化特征. 气候变化研究进展, 3(4):195—201.
- 马柱国, 邵丽娟, 2006. 中国北方近百年干湿变化与太平洋年代际振荡的关系. 大气科学, 30(3):464—474.
- 毛飞, 张光智, 徐祥德, 2000. 参考作物蒸散量的多种计算方法及其结果的比较. 应用气象学报, 11(增刊):128—136.
- 任国玉, 徐铭志, 初子莹, 等, 2005. 近 54 年中国地面气温变化. 气候与环境研究, 10(4):717—727.
- 万世明, 李安春, 胥可辉, 等, 2008. 南海北部中新世以来粘土矿物特征及东亚古季风记录. 地球科学——中国地质大学学报, 33(3):289—300.
- 王菱, 谢贤群, 李运生, 等, 2004. 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, 23(1):45—54.
- 王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢, 等, 1998. 近百年中国年气温序列的建立. 应用气象学报, 9(4):392—401.
- 王越, 江志红, 张强, 等, 2007. 基于 Palmer 湿润指数的旱涝指标研究. 南京气象学院学报, 30(3):383—389.
- 王遵娅, 丁一汇, 何金海, 等, 2004. 近 50 年来中国气候变化特征的再分析. 气象学报, 62(2):228—236.
- 吴绍洪, 尹云鹤, 郑度, 等, 2005. 青藏高原近 30 年气候变化趋势. 地理学报, 60(1):3—11.
- 杨建平, 丁永建, 陈仁升, 2003. 近 50 年中国干湿气候界线波动及其成因初探. 气象学报, 61(3):364—373.
- 杨莲梅, 2003. 塔克拉玛干地区气候变化对全球变暖的响应. 中国沙漠, 23(5):497—502.
- 叶柏生, 李翀, 杨大庆, 等, 2004. 我国过去 50 年来降水变化趋势及其对水资源的影响(I):年系列. 冰川冻土, 26(5):587—594.
- 尹云鹤, 吴绍洪, 郑度, 等, 2005. 近 30 年我国干湿状况变化的区域差异. 科学通报, 50(15):1636—1642.
- 曾燕, 邱新法, 刘昌明, 等, 2007. 1960—2000 年中国蒸发皿蒸发量的气候变化特征. 水科学进展, 18(3):311—318.
- 张东, 张万昌, 徐全芝, 2005. 汉江上游流域蒸散量计算方法的比较及改进. 资源科学, 27(1):97—103.
- 张杰, 李栋梁, 2004. 祁连山及黑河流域降雨量的分布特征分析. 高原气象, 23(1):81—88.