

甘肃玛曲县近40 a潜在蒸散量的变化趋势

汪治桂¹, 王建兵¹, 冯景昌¹, 王素萍²

(1. 甘肃省甘南州气象局, 甘肃 合作 747000; 2. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020)

摘要: 利用玛曲县气象观测站1971~2010年的地面气象观测资料, 运用Penman-Monteith公式计算得出玛曲县逐月潜在蒸散量值。通过Mann-Kendall法、小波分析等统计方法进行分析, 结果发现玛曲县潜在蒸散量年际变化呈逐年上升趋势, 上升趋势为12.0 mm/10 a; 并且存在准10 a和准5 a周期。潜在蒸散量与小型蒸发皿蒸发量的逐年变化趋势基本一致。月平均潜在蒸散量呈单峰型, 从1月到7月呈上升趋势, 7月是蒸散量最大月, 从8月又开始下降。并且月平均潜在蒸散量最大值出现在年平均气温最高和降水量最多的7月。玛曲县潜在蒸散量的季节分布与该地降水量的季节分布和气温的高低季节变化一致。

关键词: 玛曲; 潜在蒸散量; 变化

中图分类号: P468.0⁺2

文献标识码: A

引言

蒸散既是地表热量平衡的组成部分, 又是水量平衡的组成部分, 是水循环中最直接受土地利用和气候变化影响的一项; 反过来, 蒸散又可减小辐射向感热的转化, 增加空气湿度, 提高最低气温及降低最高气温, 起到调节气候的作用^[1]。由于潜在蒸散量是体现区域能量平衡和水分平衡的重要组成部分, 近年来有不少专家和学者对全国各区域性的潜在蒸散(蒸发)量作过很多研究^[2-11]。具有黄河第一曲之称的玛曲县, 地处甘肃省甘南藏族自治州西南部, 是典型的青藏高原高寒阴湿区, 是黄河上游的主要水源补给区, 也是甘南州境内自然生态的敏感脆弱区。受大陆季风气候和高原特殊地理环境的影响, 日照足、辐射强、降水多、气温低是本地常年突出的气候特征。这里被誉为黄河的“天然蓄水池”, 对黄河水源具有特殊的调节作用^[12]。但近年来, 由于受自然因素和人类活动的影响, 使当地草地生态环境破坏加剧, 尤其在近年来在玛曲县降水量减少、气温升高^[12-13]的气候背景下使当地水资源供给条件发生了严重的变化; 草地沙化、湿地萎缩等现象是玛曲县地表热量不平衡、水汽循环不协调的严重表现。为此研究玛曲县近年来地表蒸散量的变化是十分有

必要的, 对研究甘南草地生态环境的变化和进一步保护草地、改善和合理利用草原资源有十分重要的意义。

1 资料与方法

1.1 资料来源

选取玛曲县气象站(34°N, 102°05', 海拔高度为3 471.4 m) 1971~2010年的月平均气温、平均最高气温、平均最低气温、平均相对湿度、日照时数、平均风速等地面气象观测资料, 进行月、季、年潜在蒸散量的统计。用Penman-Monteith公式进行潜在蒸散量的估算和分析。

1.2 计算方法

有关潜在蒸散量 ET_0 的计算方法很多, 本文应用联合国粮食及农业组织(FAO)推荐的气象上广泛常用的Penman-Monteith公式^[14]计算, 月潜在蒸散量为 ET_0 乘当月日数。计算公式具体形式为:

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

公式中 $G = 0.07(T_{t+1} - T_{t-1})$;

收稿日期: 2011-07-22; 改回日期: 2011-09-20

基金项目: 中国科学院寒旱区陆面过程与气候变化重点实验室开放基金“黄河源区气候变化的分析研究”资助

作者简介: 汪治桂(1974—), 女, 青海湟中人, 汉族, 工程师, 主要研究方向: 中短期天气预报及相关研究. E-mail: w_zh_g01@163.com

$$e^{\circ}(T) = 0.6108 \exp\left[\frac{17.27T}{T + 237.3}\right];$$

$$e_s = \frac{e^{\circ}(T_{\max}) + e^{\circ}(T_{\min})}{2};$$

$$e_a = \frac{RH_{\text{mean}}}{100} e_s;$$

$$U_2 = U_{10} \frac{4.87}{\ln(67.8 \times 10 - 5.42)};$$

其中 $R_n = 0.77 \times (0.248 + 0.752 \frac{n}{N}) R_{so} -$

$$\sigma \left[\frac{T_{\max,k}^4 + T_{\min,k}^4}{2} \right] (0.56 - 0.08 \sqrt{e_a})$$

$$(0.1 + 0.9n/N)^{[15]};$$

以上算式中, ET_0 为潜在蒸散量 ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$); R_n 为参考作物表面净辐射 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); R_{so} 为晴天辐射 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); R_s 为入射辐射 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); G 为土壤热通量 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); γ 为干湿表常数 ($\text{kPa} \cdot ^{\circ}\text{C}$); e_s 为饱和水汽压 (kPa); e_a 为实际水汽压 (kPa); U_2 、 U_{10} 分别为 2 m 和 10 m 高处的平均风速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); Δ 表示饱和水汽压——温度曲线的斜率 ($\text{kPa} \cdot ^{\circ}\text{C}$); $T_{\max,k}$ 、 $T_{\min,k}$ 分别为绝对温标的最高和最低气温 (K), T_{i+1} 、 T_{i-1} 分别为第 $i+1$ 月和第 $i-1$ 月温度 ($^{\circ}\text{C}$); n 为实际日照时数 (h), N 为最大可照时数 (h), σ 为 Stefan - Boltzmann 常数; RH_{mean} 为月相对湿度 (%)。

2 结果分析

2.1 月潜在蒸散量的变化趋势

通过分析玛曲县 40 a (1971 ~ 2010) 月平均潜在蒸散量变化(图 1), 发现玛曲县月平均潜在蒸散量呈典型的单峰型, 1 ~ 7 月潜在蒸散量呈逐月上升趋势, 7 月升到最大峰值后, 8 月又开始下降。6 月潜在蒸散量接近常年平均值, 7 月后的下降速度比 7 月前前的上升速度要快。从资料统计显示 7 月蒸散量最大值与玛曲县月降水量最大值出现在 7 月相一致, 值得一提的是这一特点恰与其他作者分析其它大范围地区蒸散量变化特征得出的相关结论^[3,16] 相反(降水量多反而蒸散量少)。体现出了高原独特的气候异常特点, 7 月是玛曲县气温最高月, 同时也是降水量的最多月, 从降水量的月际变化来看, 逐月降水量的变化也是典型的单峰型。1 ~ 5 月是潜在蒸散量升高最明显的时段, 恰好也是玛曲县气温上升最快的阶段。5 ~ 7 月潜在蒸散量上升较缓慢, 主汛期 6 ~ 8 月潜在

蒸散量变化不明显。8 ~ 11 月下降比较迅速, 这与玛曲县累年月平均气温的逐月(8 ~ 11 月)下降特点相一致, 11 ~ 12 月下降幅度不大。

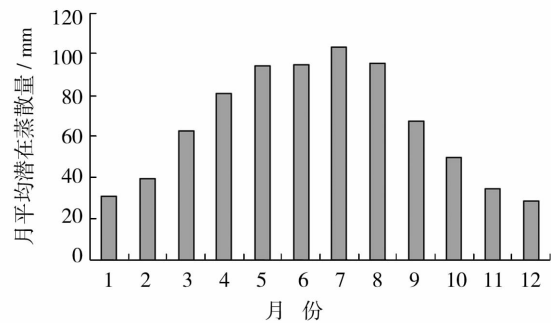


图 1 玛曲县月潜在蒸散量变化

Fig. 1 The monthly variation of potential evapotranspiration in Maqu county of Gansu Province

2.2 年潜在蒸散量时间变化特征

玛曲县年平均潜在蒸散量为 785.9 mm, 近 40 a 年蒸散量的变化呈上升趋势, 并且以 12.0 mm/10 a 的增幅在上升(通过 $\alpha = 0.05$ 的信度检验)(图 2)。年蒸散量距平 1996 年以前以负距平为主, 1996 年以后以正距平为主, 从 5 a 滑动平均来看在 1971 ~ 1998 年间有 3 次明显的波动, 分别在 1978 年、1985 年、1995 年降到波谷, 于 1981 年、1990 年、1998 年升到波峰。1970 年代年蒸散量正负距平相当, 但很明显负距平绝对值比正距平值大, 说明 1970 年代蒸散量以减少为主; 1980 年代主要以负距平为主, 1990 年代的前 5 a 均为负距平, 后 5 a 为正距平。进入 2000 年后到 2010 年, 虽然以正距平为主, 但 10 a 间存在明显的上下振荡。总体来看玛曲县年潜在蒸散量升高以 1996 年以后的 15 a 为主。通过小波分析发现 1971 ~ 1985 年间以准 10 a 周期为主, 从 1980 年代末到 1990 年代末是一个明显的调整时段, 在这一时期内青藏高原气候也发生了明显的变化^[17]; 2000 ~ 2010 年出现准 5 a 周期。

为了进一步研究玛曲县潜在蒸散量的年际变化规律, 用 Mann - Kendall 法对玛曲县潜在蒸散量进行了突变分析, 发现玛曲县年潜在蒸散量在 1996 年有增大突变(通过 $\alpha = 0.01$ 信度检验), 根据王建兵等^[18] 的研究, 玛曲县年平均气温在 1996 年发生暖突变, 二者相吻合, 说明气温对潜在蒸散量的影响十分明显。突变前后年平均潜在蒸散量差值为 37 mm, 说明 1996 年后至 2010 年玛曲县潜在蒸散量明显增大。

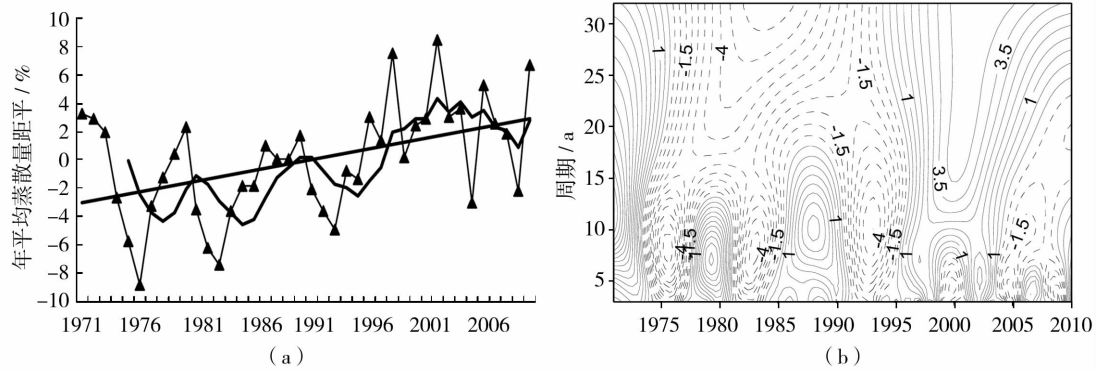


图2 玛曲县年潜在蒸散量距平变化及5 a 滑动平均(a)和小波分析(b)

Fig. 2 The annual variation of potential evapotranspiration anomaly and its five-year moving average(a) and wavelat analysis(b) from 1971 to 2001 in Maqu county

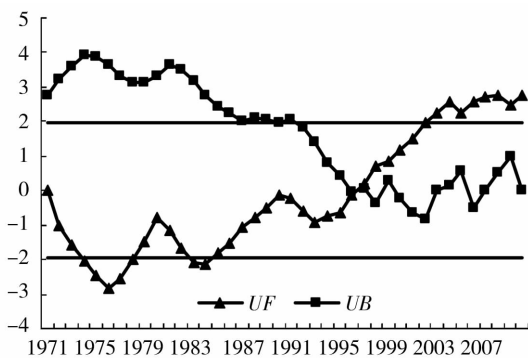


图3 玛曲县年潜在蒸散量 M-K 法计算图

Fig. 3 The M-K method calculation of annual evapotranspiration in Maqu county

2.3 潜在蒸散量的季节变化特征

玛曲县潜在蒸散量在夏季出现最高值 292.5 mm, 蒸散量占全年的 37.2%, 春、秋季次之, 冬季是潜在蒸散量最小的季节, 只占全年的 12.6%。其中夏季蒸散量比冬季多 195.7%, 比春季多 24.6%, 比秋季多 96%。这与玛曲县降水量的多雨季与少雨季相吻合, 也与四季平均气温的变化特征一致。通过对近 40 a 来潜在蒸散量季节的变化特征进行分析(图 4), 发现春季在 1999 年以前以负距平为主, 1999 年开始以正距平为主, 期间只在 2009 年出现了负距平。夏季、秋季 1990 年代后期均以正距平为主, 1995 年以前主要以负距平为主。冬季正负距平比例相当, 可见冬季蒸散量变化较平稳。其中春季以 3.2 mm/10 a 的速度在上升(通过 $\alpha = 0.1$ 的信度检验), 夏季以 3.4 mm/10 a 的速度在上升(没有通过信度检验), 秋季以 4.5 mm/10 a 的速度在上升(通过 $\alpha = 0.01$ 的信度检验), 冬季以 1.0 mm/10 a 的速度在上升(没有通过信度检验)。从 4 个季节

的变化趋势上看, 多年来玛曲县各季节潜在蒸散量均呈上升趋势, 秋季上升最快, 春季和夏季次之, 冬季上升最缓慢。

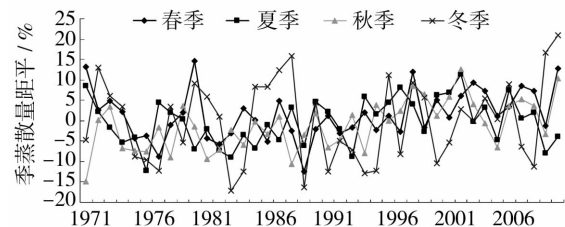


图4 玛曲县潜在蒸散量季节变化

Fig. 4 The seasonal variation of potential evapotranspiration in Maqu county

3 潜在蒸散量与蒸发皿蒸发量年际变化趋势比较

通过对比玛曲县年潜在蒸散量距平与小型蒸发皿实际年蒸发量距平的年际变化(图 5), 发现实际观测的小型蒸发皿蒸发量和计算的潜在蒸散量在年际变化趋势上基本一致, 这与杨东等^[19]分析甘南州蒸发量年际变化趋势一致。其中 1971~1985 年玛曲县小型蒸发皿存在 12 a 的周期振荡^[19], 与潜在蒸散量的周期振荡基本一致。1996~2002 年蒸散量和蒸发量二者均出现正距平, 明显的差异只出现在 1984~1989 年期间。年平均潜在蒸散量在 1996 年以前以负距平为主, 1996 年以后以正距平为主, 小型蒸发皿年平均蒸发量在 1971~1981 年、1994~2002 年均为正距平, 1982~1987 年、1989~1993 年为连续负距平。虽然二者的年际变化趋势比较一致, 但很明显看出 40 a 中年潜在蒸散量距平的上升

和下降比年蒸发量距平的变化缓慢得多。从1990年开始蒸散量和蒸发量的变化趋势相当一致,但在1990年前虽然变化趋势较一致,但在距平变化的量值上有明显的差异。

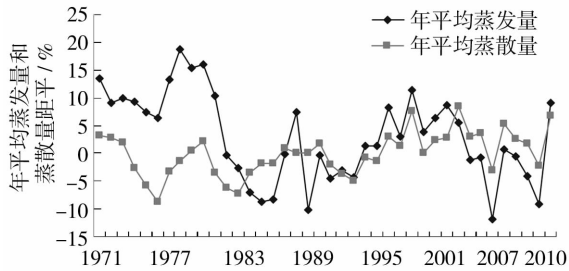


图5 玛曲县潜在蒸散量与蒸发量变化

Fig. 5 The annual change of potential evapotranspiration and pan - evaporation in Maqu county from 1971 to 2010

通过分析影响蒸发和蒸散的主要气候因子,发现日照是影响蒸发和蒸散的重要共同热力因子,这与其他专家^[20]的分析一致。但影响蒸发的另外一个重要动力因子是风速,而最高气温又是影响蒸散的另外一个热力因子。1971~2010年间玛曲平均风速呈减小趋势,减小趋势为 $0.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}/10 \text{ a}$ (通过 $\alpha=0.05$ 的信度检验),通过相关分析发现风速与蒸发量呈明显正相关(通过 $\alpha=0.05$ 的信度检验),风速每增加 1 m/s 蒸发量将增加 122.1 mm ,1971~1990年间玛曲平均风速为 2.3 m/s ,1990年后20 a平均风速为 2.0 m/s ,1990年后风速明显减小;而玛曲年平均最高气温以 $0.3 \text{ }^{\circ}\text{C}/10 \text{ a}$ 的趋势升高,而蒸散量也呈明显上升的趋势,通过计算发现最高气温每升高 $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 蒸散量将增加 30.6 mm ,由此可见蒸发量随着风速的减小而逐渐减少,而蒸散量随着最高气温的升高而逐渐增大,这是蒸散量和蒸发量距平变化1970年代差异明显大于1990年代后的主要原因。

4 结 论

(1)玛曲县月潜在蒸散量呈典型的单峰型,1~7月潜在蒸散量呈逐月上升趋势,7月升到最大峰值后,8月又开始下降。月潜在蒸散量出现最大值的月份与玛曲县气温和降水量出现最大值月份相符,均出现在7月。

(2)玛曲县年潜在蒸散量呈逐年上升趋势,以 $12.0 \text{ mm}/10 \text{ a}$ 的幅度在上升,并在1996年出现了增大突变,与玛曲县气温出现暖突变时间相吻合,

1996年以后的15 a期间上升最明显。1971~1985年之间以准10 a周期变化为主,1980年代末到1990年代末是一个明显的调整时段,2000~2010年出现了准5 a周期变化。

(3)玛曲县潜在蒸散量夏季最大,冬季最小,春、秋季次之,与本地的降水量季节分布和季节气温变化相一致;多年来玛曲县潜在蒸散量均在上升,秋季上升最快,春季和夏季次之,冬季上升最缓慢。

(4)玛曲县年潜在蒸散量与小型蒸发皿实际年蒸发量在年际变化趋势上相一致,均呈逐年上升趋势,但在周期变化步调上不一致,这与影响各自的气象因子不同有关系。

参考文献:

- [1] 邱新法,刘昌明,曾燕. 黄河流域近40 a蒸发皿蒸发量的气候变化特征[J]. 自然资源学报,2003,18(4):437.
- [2] 李英年. 高寒草甸地区冷季水分资源及对牧草产量的可能影响[J]. 草业学报,2001,10(3):15-20.
- [3] 封志明,杨艳昭,丁晓强,等. 甘肃地区参考作物蒸散量时空变化研究[J]. 农业工程学报,2004,20(1):101.
- [4] 何炎红,田有亮,郭连生. 乌兰布和沙漠可能蒸散的研究[J]. 干旱气象,2007,25(2):61-66.
- [5] 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[J]. 地理学报,2004,59(6):847-854.
- [6] 张高斌,郭建茂,吴元芝,等. 山西万荣县近52 a气候特征及其与参考作物蒸散量和土壤湿度的关系[J]. 干旱气象,2011,29(1):94-98.
- [7] 刘波,马柱国,丁裕国. 中国北方近45年蒸发变化的特征及与环境的关系[J]. 高原气象,2006,25(5):840-847.
- [8] 莫兴国,薛玲,林忠辉. 华北平原1981—2001年作物蒸散量的时空分异特征[J]. 自然资源学报,2005,20(2):181-186.
- [9] 庄晓翠,张林梅,阿志肯,等. 阿勒泰地区暖季蒸发变化特征及与气象因子的关系[J]. 干旱气象,2009,27(3):213-218.
- [10] 韩军彩,张秉祥,高祺等. 石家庄市蒸发皿蒸发量的变化特征及其影响因素分析[J]. 干旱气象,2009,27(4):342.
- [11] 王佩,邱国玉,尹婧等. 泾河流域温度与器皿蒸发量时空特征及变化趋势[J]. 干旱气象,2008,26(1):17-22.
- [12] 姚玉璧,王润元,邓振镛,等. 黄河上游主要产区气候变化及其对水资源的影响——以甘南高原为例[J]. 中国沙漠,2007,27(5):903.
- [13] 李国军,李晓媛,王振国,等. 黄河上游水源补给区气候变化及对水资源的影响[J]. 干旱气象,2007,25(2):67-70.
- [14] 王素萍,宋连春,韩永翔,等. 玛曲气候变化对生态环境的影响[J]. 冰川冻土,2006,28(4):557-560.
- [15] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements FAO Irrigation & Drainage Paper 56. FAO, 1998. ISBN 92-5-104219-5.

(下转第496页)

- [7] 赵鸿,李凤民,熊友才,等. 土壤干旱对作物生长过程和产量影响的研究进展[J]. 干旱气象,2008,26(3):67-70.
- [8] 黄淑娥,祝必琴,李晓青,等. 鄱阳湖地区油菜生产气象条件分析与种植气候区划[J]. 江西农业大学学报,2009,31(6):946-947.
- [9] 安华银,姚玉璧,尹东,等. 甘南高原生物气候资源及其生态农业区划[J]. 干旱气象,2007,25(1):67-72.
- [10] 聂战声,王耀. 高海拔山区油菜高产栽培技术[J]. 作物杂志,2009(1):125.
- [11] 孙淑梅. 甘肃油菜生产现状分析. 蜜源植物与授粉[J]. 中国蜂业,2009,60(6):32-33.
- [12] 余松烈. 作物栽培学[M]. 重庆:重庆出版集团,2001.
- [13] 王龔,薛景轩,王璉. 陇东冬油菜的气象条件分析[J]. 甘肃农业,2005(3):91.

Analysis of Eco - Climate Suitability of *Brassica napus* and Its Suitable Planting Area in Linxia of Gansu Province

SUN Yulian^{1,2}, YIN Xianzhi², BIAN Xuejun², SHI Dengke², HUANG Chengxiu², LIU Hui², YANG Wenkai²

(1. Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China;
2. Linxia Meteorological Bureau of Gansu Province, Linxia 731100, China)

Abstract: This paper analyzed the physiological characteristics of *Brassica napus* and its eco - climate condition in Linxia of Gansu Province by using the mathematical statistic method, and established the comprehensive index system of suitable planting area of *Brassica napus*. The precipitation, temperature and sunshine hours were main factors influencing *Brassica napus* growth by analyzing climatic factors during *Brassica napus* growth season from 1971 - 2009 in Linxia area. At the same time, the *Brassica napus* planting area was regionalized according to the climatic indexes system established in Linxia area. The planting region can be divided into 3 areas, the best suitable planting area (Kangle county, Hezheng county, Jishishan county, southwest of Linxia county, and southwest Dongxiang county), the better suitable planting area (East and west irrigation land of Linxia, the lower reaches of Guangtonghe River, northeast Kangle and Jishishan county and east Dongxiang county), and in other areas of Linxia the *Brassica napus* just can be planted.

Key words: *Brassica napus*; eco - climate; suitability; planting area; regionalization

(上接第 491 页)

- [16] 左大康,王懿贤,陈建绥. 中同地区太阳总辐射的空间分布特征 [A]. 郑度. 左大康地理研究论文集[C]. 北京:科学出版社, 1993. 168-185.
- [17] 李林,张国胜,汪青春,等. 黄河上游流域蒸散量及其影响因子研究[J]. 地球科学进展. 2000,15(3):256-259.
- [18] 蔡英,李栋梁,汤懋苍,等. 青藏高原近 50 年来气温的年代际变化[J]. 高原气象,2003,22(5):464-470.
- [19] 王建兵,王振国,吕虹. 黄河重要水源补给区草地退化的气候背景分析[J]. 莫业科学,2008,25(4):24.
- [20] 杨东,郭盼盼,易凤佳,等. 甘南州近 35 年蒸发量时空演变特征及对环境的影响[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(6):147-153.
- [21] 王素萍,张存杰,韩永翔. 甘肃省不同气候区蒸发量变化趋势及其影响因子研究[J]. 中国沙漠,2010,30(3):675-680.

Trends of Potential Evapotranspiration in Maqu County of Gansu Province in Recent 40 Years

WANG Zhigui¹, WANG Jianbin¹, FENG Jingchang¹, WANG Suping²

(1. Gannan Meteorological Bureau of Gansu Province, Hezuo 747000, China;
2. Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Based on meteorological data during 1971 - 2010 from Maqu weather station, the monthly potential evapotranspiration was calculated by using the Penman - Monteith method, and the trends of potential evapotranspiration in Maqu were analyzed by using statistical analysis, Mann - Kendall method and wavelet analysis. The results indicated that the annual variation of potential evapotranspiration presented a significant increasing trend with the rate of 12.0 mm/10 a, and there was quasi - 10 and quasi - 5 years change period. The trend of pan - evaporation was similar to the potential evapotranspiration in Maqu. Monthly mean of the potential evapotranspiration presented single peak with increase from January to July and going down from August. The maximum of monthly mean potential evapotranspiration occurred in July. The seasonal distribution of potential evapotranspiration was consistent with precipitation and temperature in Maqu.

Key words: Maqu; potential evapotranspiration; variation