

# 马莲河流域干燥度变化特征

车向军<sup>1,2</sup>, 韩世昌<sup>3</sup>, 赵振昌<sup>2</sup>, 邱宁刚<sup>2</sup>

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃兰州 730020; 2. 甘肃省庆阳市气象局, 甘肃庆阳 745000; 3. 宁夏回族自治区固原市气象局, 宁夏固原 756000)

**摘要** [目的]研究马莲河流域干燥度变化特征。[方法]利用马莲河流域7个气象站1961—2015年地面观测资料,根据Holdridge生命地带模型对近55年来马莲河流域的干燥度变化特征进行了分析。[结果]近55年来马莲河流域内可能蒸散率(PER)以0.01~0.07/10 a的趋势上升,地区差异明显。马莲河流域PER 20世纪90年代出现了最大值,比20世纪60年代平均增大了0.36,为干旱最频繁发生时段。马莲河流域降水量呈减少趋势,减幅为1.3~13.9 mm/10 a,其中上中游降水量减少最为明显;年生物温度升高,增加趋势为0.13~0.29 °C/10 a,下游地区年生物温度升高最为明显。[结论]马莲河流域出现了明显的暖干化趋势,对农业生产、经济社会发展的不利影响将更加显著。

**关键词** 干燥度;变化特征;Holdridge生命地带;马莲河流域

**中图分类号** S161.4 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)11-0168-03

## Variation Characteristic of Aridity Index in Malian River Basin

CHE Xiang-jun<sup>1,2</sup>, HAN Shi-chang<sup>3</sup>, ZHAO Zhen-chang<sup>2</sup> et al (1. Lanzhou Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Open Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of China Meteorological Administration, Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730020; 2. Meteorological Bureau of Qingyang City, Qingyang, Gansu 745000; 3. Meteorological Bureau of Guyuan City, Guyuan, Ningxia 756000)

**Abstract** [Objective] The research aimed to study the variation characteristic of aridity index in Malian River Basin. [Method] Using the surface meteorological observed data in seven climate stations in Malian River Basin during 1961-2015, according to the Holdridge life zone model analyzed the variation characteristic of aridity index in Malian River Basin in recent 55 years. [Result] The possible evapotranspiration rate (PER) was increasing by the tendency of 0.01 to 0.07/10 a in the Malian River Basin in recent 55 years, and the regional differences were significant. The maximum value of PER in Malian River basin was in 1990s, the average increased by 0.36 than in 1960s, which was the most frequent occurrence of drought. The precipitation of Malian River Basin showed a decreasing trend, it was 13.3 to 13.9 mm/10 a, the precipitation reduction of the upper and middle reaches was the most obvious. Annual biological temperature was increased, the increasing trend was 0.13 to 0.29 °C/10 a, the annual biological temperature increase was the most obvious in the downstream area. [Conclusion] Malianhe River Basin has a significant warm-drying trend, the adverse effects of agricultural production, economic and social development will be more significant.

**Key words** Arid index; Variation characteristic; Holdridge life zone; Malian River Basin

干旱是我国主要的气象灾害之一,对农牧业、粮食安全、水资源及生态环境有重要的影响<sup>[1-3]</sup>。近年来,受全球气候变暖影响,干旱呈频发态势,持续时间长、灾害严重、影响范围广。据《中国水旱灾害公报》公布的数据,1950—2007年全国农业平均每年因旱受灾2 173.33万hm<sup>2</sup>,年均因旱损失粮食158亿kg,占各种自然灾害造成粮食损失的60%以上<sup>[4]</sup>。干旱未来必将对我国经济发展造成更为不利的影响。

马莲河流域位于陇东黄土高原、泾河流域东北部,是黄土高原最具代表性区域,是鄂尔多斯能源基地的重要组成部分。马莲河是泾河最大的一级支流,流经宁夏、甘肃、陕西三省(区),全长375 km。马莲河是庆阳境内最大的一条河流,流域面积1.9万km<sup>2</sup>,地形复杂,支流众多。为了有效改善生态环境、减少黄河输沙量、破解革命老区水资源瓶颈制约,马莲河水利枢纽工程已被列入国家重点支持的172项重大水利项目之一。有研究表明,由于气候变化及人类活动影响,马莲河流域是黄土高原水土流失最严重的地区之一,生态环境恶化,流域植被覆盖出现退化<sup>[5-6]</sup>。受全球气候变化影

响,黄土高原暖干化趋势显著,水资源日益短缺,已威胁到该区的农业生产及退耕还林还草等生态建设<sup>[7-9]</sup>。因此,研究马莲河流域气候干湿变化,对合理利用、调配马莲河水资源、沿河地区农业生产的高效开展及保护马莲河流域生态环境具有十分重要的意义。笔者利用马莲河流域7个气象站1961—2015年地面观测资料,根据Holdridge生命地带模型对近55年来马莲河流域的干燥度变化特征进行了分析。

## 1 资料与方法

**1.1 资料选取与分析方法** 利用马莲河流域盐池、环县、庆城、华池、合水、宁县、正宁等1961—2015年的气温、降水量、相对湿度等地面观测气象资料,采用趋势分析、小波分析及Mann-Kendall突变分析<sup>[10]</sup>等方法,对近55年来马莲河流域干湿变化进行分析。

**1.2 可能蒸散率(PER)计算** Holdridge生命地带既指示着一定的植被类型,又反映着产生该类型的热量与降水的一定数值幅度<sup>[11-12]</sup>。Holdridge生命地带模型以年生物温度(BT)、年平均降水量(AAP)和可能蒸散率(PER)3个气候指标为主要参数<sup>[13]</sup>。BT、AAP和PER在Holdridge坐标系中的组合构成了36个正六边形和39种生命地带。

生物温度是出现植物营养生长范围内的平均温度,一般认为在0~30 °C,日平均温度( $t_i$ )低于0 °C或高于30 °C均排除在外,超过30 °C的平均温度均按30 °C计算,低于0 °C的

**基金项目** 公益性行业(气象)科研专项(重大专项)“我国北方农业干旱灾害风险时空变化特征研究”(GYHY201506001-6);庆阳市气象局气象科学技术研究项目“气候变化对庆阳农业生产影响研究”(qyx201505)。

**作者简介** 车向军(1971—),男,甘肃庆城人,工程师,从事农业气象应用研究与服务工作。

**收稿日期** 2017-02-17

均按 0 °C 计算<sup>[14]</sup>。计算公式为:

$$BT = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{12} t_i \quad (1)$$

式中,  $t_i$  为大于 0 °C 的月平均温度, 当  $t \geq 30$  °C 时, 取  $t = 30$ ; 当  $t \leq 0$  °C 时, 取  $t = 0$ 。

PER 是一种干燥度指数, 是可能蒸散量 (PE) 与年降水量的比率。计算公式为:

$$PE = 58.93BT \quad (2)$$

$$PER = 58.93BT/AAP \quad (3)$$

定义: PER 值 0.12 ~ 0.25 的地区为超湿润区, 0.25 ~ 0.50 为极湿润区, 0.50 ~ 1.00 为湿润区, 1.00 ~ 2.00 为亚湿润区, 2.00 ~ 4.00 为半干旱区, 4.00 ~ 8.00 为干旱区, 8.00 ~ 16.00 为极干旱区, 16.00 ~ 32.00 为超干旱区。因此, PER 值愈大, 表明研究区域愈干燥, 植被愈趋于干旱化<sup>[15]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 马莲河流域 PER 的变化特征

马莲河流域北部为干旱气候, 中南部为半湿润、半干旱气候, PER 的变化受气候条件影响较大。马莲河流域 PER 具有明显的地区差异, 分布特征是北部大南部小、由北部向南部递减。全流域 PER 多年平均为 1.31, 除发源地盐池外, 其他地区的年平均 PER 在

1.50 以下, 下游正宁为 0.95。

近 55 年来, 马莲河流域 PER 呈上升趋势, 以中上游的环县、华池和庆城上升明显, 而发源地盐池的干燥度较为稳定。为了对马莲河流域各地区的干燥度变化进行有针对性的分析, 选取环县代表上游地区, 庆城代表中游地区, 正宁代表下游地区, 分别进行分析。由图 1 可知, 环县、庆城、正宁的 PER 均呈现波动上升趋势, 升幅从大到小依次为环县、庆城、正宁, 表明马莲河流域上游干燥化趋势较为明显, 中游次之, 下游变化趋势较为缓慢。从年际变化来看, 环县、庆城的 PER 变化趋势基本相同, 20 世纪 60 年代上升趋势明显, 由湿润区过渡为亚湿润区; 70 年代—90 年代中期波动变化, 环县个别年份为半干旱区; 90 年代末期到目前出现了 2 个小周期的下降趋势。环县的波动范围最大, 最大值出现在 2006 年, 庆城的最大值出现在 1995 年。正宁 20 世纪 60—90 年代表现为缓慢的上升趋势, 并于 1995 年达到最大值, 之后逐渐下降, 波动范围较小。

因此, 马莲河流域暖干化较为明显, 已经对当地的生态环境造成了很大的不利影响。上游地区林地退化、土地沙漠化发展速度较快, 中下游地区受干旱影响风险增大, 对粮食安全生产及特色农业的发展形成了制约。

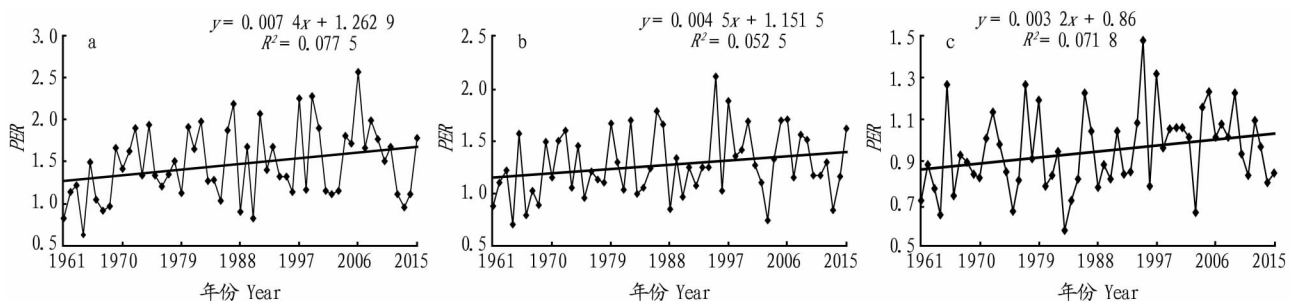


图 1 1961—2015 年环县 (a)、庆城 (b) 和正宁 (c) PER 年变化

Fig. 1 Annual variation of PER in Huanxian (a), Qingcheng (b) and Zhengning (c) during 1961–2015

马莲河流域 PER 的年代际波动上升变化特征明显 (表 1), 变干化趋势较为显著, 其中上游地区最为突出, 差值为 0.52; 上游地区和中游地区仍为亚湿润区, 但存在平稳增大趋势; 下游 20 世纪 90 年代为转折期, 由湿润区转为亚湿润区, 但最近 5 年为湿润区。总体来看, 马莲河流域 PER 20 世纪 90 年代出现了最大值, 环县、庆城、正宁 90 年代 PER 比 60 年代分别高 0.52、0.35、0.20, 2001—2010 年 PER 值仍较大。

表 1 1961—2015 年马莲河流域 PER 年代际变化

Table 1 Interdecadal variation of PER in Malian River Basin during 1961–2015

时段 Period	环县 Huanxian	庆城 Qingcheng	正宁 Zhengning
1961—1970	1.13	1.08	0.85
1971—1980	1.52	1.30	0.96
1981—1990	1.47	1.26	0.86
1991—2000	1.65	1.43	1.05
2001—2010	1.64	1.33	1.04
2011—2015	1.33	1.22	0.91

### 2.2 马莲河流域 PER 的周期变化

从图 2 可看出, 正宁

PER 以 4 年的振荡周期为主, 周期性变化较为明显, 在 20 世纪 90 年代前经历了由湿到干的转变过程, 90 年代后出现了一个明显的调整, 目前处于较湿时段; 庆城 PER 以 4 年振荡周期为主, 9 年振荡周期为辅, 进入 21 世纪后调整明显, 目前短周期变化尚未形成; 近 55 年来环县 PER 无明显的周期性变化。庆城、环县目前均处于较干燥时段中。

### 2.3 马莲河流域 PER 的突变分析

由于地形及气候变化因素影响, 马莲河流域 PER 的变化各有特点, 上游环县地区及中游庆城地区自 20 世纪 60 年代中后期干燥度上升, 至 21 世纪初数值一直较大, 下游正宁地区 20 世纪 80 年代以前呈上升态势, 80 年代后及 21 世纪初下降明显。根据原序列与逆序列曲线的交点位置 (图 3), 确定环县在 1968 年发生了突变, 庆城在 1969 年发生了突变, 正宁在 1971 年发生了突变, 下游晚于上、中游, 上、中游的变干趋势更为明显。总体来看, 马莲河流域在向暖干化方向发展。

### 2.4 马莲河流域暖干化的主要原因分析

#### 2.4.1 降水量。

近 55 年来马莲河流域的降水量除合水呈略增加趋势以外, 其余大部分地方均呈减少趋势, 尤其以上

游的环县、中游的庆城减少最为突出,减少趋势分别为 10.6、13.9 mm/10 a。

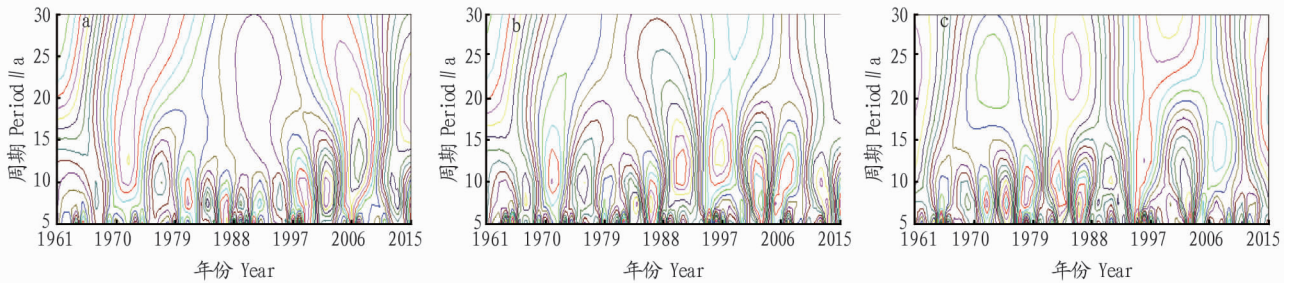


图2 1961—2015年环县(a)、庆城(b)和正宁(c)PER的周期变化

Fig. 2 Cycle change of PER in Huanxian (a), Qingcheng (b) and Zhengning (c) during 1961–2015

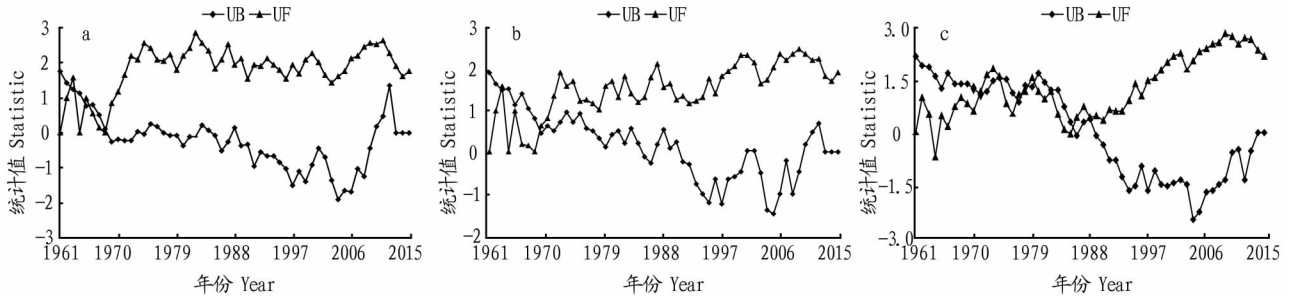


图3 1961—2015年环县(a)、庆城(b)和正宁(c)PER的Mann-Kendall突变检验

Fig. 3 Mann-Kendall mutation test of PER in Huanxian (a), Qingcheng (b) and Zhengning (c) during 1961–2015

**2.4.2 年生物温度。**近55年来马莲河流域的年生物温度呈明显的上升趋势,上升趋势达0.13~0.29℃/10a,升温最显著的地区为下游的宁县、正宁,均超过了0.24℃/10a。突变分析表明,马莲河流域年生物温度在20世纪90年代出现升高突变,突变时间与全国年平均气温在1993年后明显变暖相一致<sup>[16]</sup>,但升温幅度较为显著。

### 3 结论

(1)在全球气候变暖的背景下,近55年来马莲河流域PER的上升趋势为0.01~0.07/10a,中上游PER上升明显,发源地为干旱化沙漠地区,干燥度较为稳定。全流域各地PER的差异明显,其分布特征是北部地区大、南部地区小,由北向南递减。

(2)近55年来马莲河流域降水偏少,减少趋势为1.3~13.9mm/10a,其中中上游降水量减少最为明显;年生物温度升高,增加趋势为0.13~0.29℃/10a,其中下游地区年生物温度升高最为明显。降水偏少、年生物温度升高是马莲河流域暖干化的主要原因。

(3)马莲河流域上中游干燥化趋势最为明显,由湿润区过渡为亚湿润区,环县个别年份为半干旱区,表明马莲河流域上中游黄土高原丘陵沟壑区水资源短缺,干旱呈频发态势,沙漠化特征逐步显现,生态环境持续恶化,对农业生产的不利影响日益加重,社会经济可持续发展受到制约。

(4)总体来看,受全球气候变暖影响,马莲河流域干燥度呈增加态势,尤其中上游干燥度增加更为显著,干旱的发生将更为频繁。由于生态环境的脆弱性及复杂性,未来气候变化对社会经济建设及农业经济发展的不利影响将更为显著,

各级政府在经济发展规划及资源环境保护、农业生产布局、退耕还林还草、新农村建设等重大决策中应引起高度重视。

### 参考文献

- [1] 刘德祥,董安祥,陆登荣. 中国西北地区近43年气候变化及其对农业生产的影响[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(2):195-201.
- [2] 姚俊强,杨青,陈亚宁,等. 西北干旱区气候变化及其对生态环境影响[J]. 生态学杂志,2013,32(5):1283-1291.
- [3] 张强,陈丽华,王润元,等. 气候变化与西北地区粮食和食品安全[J]. 干旱气象,2012,30(4):509-513.
- [4] 齐述华. 干旱监测遥感模型和中国干旱时空分析[D]. 北京:中国科学院研究生院(中国科学院遥感应用研究所),2004.
- [5] 张建香,张勃,张华,等. 黄土高原的景观格局变化与水土流失研究:以黄土高原马莲河流域为例[J]. 自然资源学报,2011,26(9):1513-1525.
- [6] 张希彪,王鑫,刘彬,等. 陇东黄土高原土地覆被变化的驱动力及生态环境效应[J]. 土壤通报,2006,37(4):696-700.
- [7] 张智,林莉,梁培. 宁夏气候变化及其对农业生产的影响[J]. 中国农业气象,2008,29(4):402-405.
- [8] 赵红岩,张旭东,王有恒,等. 陇东黄土高原气候变化及其对水资源的影响[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(6):262-268.
- [9] 姚玉璧,李耀辉,王毅荣,等. 黄土高原气候与气候生产力对全球气候变化的响应[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(2):202-208.
- [10] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2版. 北京:气象出版社,2007:63-66.
- [11] 张新时. 研究全球变化的植被-气候分类系统[J]. 第四季研究,1993(2):157-169.
- [12] 周广胜,张新时. 中国气候-植被关系初探[J]. 植物生态学报,1996,20(2):113-119.
- [13] 陈育峰. GIS支持的全球气候变化对中国 Holdridge 生命地带的可能影响研究[J]. 遥感学报,1997,1(1):74-79.
- [14] 许凯凯,王宏,李晓兵,等. 基于 Holdridge 生命地带模型的欧亚温带草原东缘生态样带植被格局变化研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2015,51(S1):44-48.
- [15] 毛飞,孙涵,杨红龙. 干湿气候区划研究进展[J]. 地理科学进展,2011,30(1):17-26.
- [16] 陈隆勋,周秀骥,李维亮,等. 中国近80年来气候变化特征及其形成机制[J]. 大气科学,2004,62(5):634-646.