

基于最大熵理论的降雨 SPI 研究

吴孝情^{1,2}, 陈晓宏^{1,2}, 何艳虎^{1,2}, 房春艳^{1,2}

(1. 中山大学水资源与环境研究中心, 广东 广州 510275;
2. 华南地区水循环和水安全广东普通高校重点实验室, 广东 广州 510275)

摘要: 为了克服目前对标准化降水指数(SPI)计算必须首先假设服从某种分布的不足, 依据最大熵理论分布对 SPI 进行计算, 以东江流域为例, 分别利用最大熵理论分布、Gamma 分布、Weibull 分布以及对数正态分布四种概率密度函数拟合多年不同时间尺度的降雨数据, 并利用 AIC、KS、AD 法进行拟合度检验, 最后将最大熵理论分布与 Gamma 分布计算的 SPI 结果进行对比分析。结果表明: 相对于其他三种分布, 最大熵理论分布的概率密度函数更适用于东江流域 15 个站点的 3、6、12 个月的降雨分布; 在极端干旱(洪涝)的情况下, 相对于 Gamma 分布, 最大熵理论分布的 SPI 值更小(大), 表明其对极端干旱(洪涝)的识别更为敏感。

关键词: SPI; 最大熵; 拟合分布; 极端灾害; 东江流域

中图分类号: P339 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0852(2014)06-0014-07

1 引言

变化环境下, 当前区域气候变化趋于极端化, 干旱灾害更加频繁、发生范围更广, 导致的危害也更严重^[1-3]。区域干旱灾害是现阶段研究的一个热点问题, 国内外学者对干旱已作了较为深入的研究^[4,5]。目前用于量化干旱特征的干旱指数一般包括 PDSI(Palmer Drought Severity Index, PDSI)、RAI (Rainfall Anomaly Index, RAI)、CMI(Crop Moisture Index, CMI)、SWSI(Surface Water Supply Index, SWSI) 以及 SPI(Standardized Precipitation Index, SPI)等, 其中 SPI 因方法简单、应用限制少且可以进行区域之间的相互比较而被广泛使用^[6-7]。现有研究多利用多变量概率分布分析干旱, 常用干旱历时、干旱严重程度以及干旱强度三个特征变量来描述干旱, 即先利用游程理论^[8]统计干旱的三个特征变量, 再根据多变量概率分布分析干旱特征^[9,10]。而多变量概率分析大部分以 SPI 为基础, 目前相当一

部分 SPI 计算是直接假设降雨序列服从 Gamma 分布, 或者通过对比几种分布选择相应的分布来计算 SPI, 前提均需对样本进行某种假设。但任何分布的选择和样本假设意味着要添加约束条件, 而这些约束条件在已知的信息中是难以获得的, 计算结果往往会因此产生误差; 与此同时, 通过对比几种分布后再确定适合区域统计分布以计算 SPI 值, 虽能够提高精度, 但计算显得繁琐且不能回避对前提的假设。鉴于此, 本文拟采用最大熵理论, 在满足已知约束条件下, 以信息熵最大来寻找拟合度最好的函数以避免对上述前提的假设。最大熵理论已被成功应用于水文频率分析中, 如 Deepak 等人应用最大熵理论提出用条件概率分布来模拟周和月的径流分布^[11], 陈海涛等人基于最大熵理论建立了干旱度概率密度分布函数以达到量化评价区域农业干旱度的目的^[12], 均取得良好效果。但采用该理论对降雨序列进行拟合以及对 SPI 进行计算的研究尚少。基于此, 本文以东江流域 15 个站点降雨数据为例, 分别对

收稿日期: 2014-05-07

基金项目: 国家自然科学基金(51210013); 广东省科技厅项目(2010B050300010)资助

作者简介: 吴孝情 (1990-), 女, 福建宁德人, 硕士研究生, 主要从事水文与水资源方面的研究。E-mail: wxqingAnn@163.com

通讯作者: 陈晓宏 (1963-), 男, 湖北公安人, 教授, 博士生导师, 主要从事水文与水资源方面的研究。E-mail: eesxh@mail.sysu.edu.cn

比分析最大熵理论分布、Gamma 分布、Weibull 型分布以及对数正态分布对不同时间尺度降雨序列的拟合效果,并采用 AIC(Akaike Information Criterion),KS(Kolmogorov-Smirnov),AD(Anderson-Darling)方法对拟合效果进行检验,最后利用目前常用于计算 SPI 的 Gamma 函数与最大熵理论分布分别计算各站点降雨序列的 SPI 值并对比分析其效果。采用最大熵理论可以丰富 SPI 的计算手段,且计算结果更为合理,能为干旱多变量概率分析提供更为可靠的依据。

2 研究方法

2.1 最大熵理论

最大熵理论是 E.T.Jaynes 于 1957 年首先提出^[13],其主要思想为:在现阶段掌握的不完全信息的情况下,如果需要对其未知的分布形态做出推断,则这个概率分布应该满足已知的约束条件并且信息熵最大,任何其他的选择和假设都意味着添加了其他的约束条件,而关键在于这些约束条件是已掌握的信息无法做出的。最大熵理论就是在满足已知的约束条件下,依据信息熵最大来寻找拟合度最好的函数。其基本公式:

$$S_x = - \int_0^{\infty} f_x(x) \ln f_x(x) dx \quad (1)$$

其约束条件为:

$$\int_R f(x) dx = 1; \int_R x^i f(x) dx = m_i; i=1,2,3, \dots, n \quad (2)$$

式中: m_i 为第 i 原点矩; n 为所用矩的最高阶数; R 为 x 的取值区间或边界,引入拉格朗日乘子 $\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_n$ 组成目标函数,调整 $f_x(x)$ 使得熵达到最大值,可得如下公式:

$$f_x(x) = \exp(-\lambda_0 - \sum_{j=1}^n \lambda_j x^j) \quad (3)$$

根据文献[14]的推导可得其密度函数为:

$$f_x(x) = \frac{\gamma_3}{\beta B(\gamma_1, \gamma_2)} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\gamma_1 \gamma_2 - 1} \left[1 + \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\gamma_3}\right]^{-(\gamma_1 + \gamma_2)} \quad (4)$$

其相应的分布函数为:

$$F_x(x) = B_Z(\gamma_1, \gamma_2) / B(\gamma_1, \gamma_2) \quad (5)$$

式中: β 为尺度参数; $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ 为形状参数; B 为 Beta 函数; B_Z 为不完全的 Beta 函数,并且:

$$Z = \left[1 + \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\gamma_3}\right]^{-1} \quad (6)$$

采用 AIC (Akaike Information Criterion),KS(Kolmogorov-Smirnov),AD(Anderson-Darling)的方法检验各分布函数对东江流域降雨拟合效果,AIC、KS、AD 的计算步骤具体可参考文献[15]。

2.2 SPI

标准化降水指数(SPI)是用来表征某时段降水量出现的概率,SPI 能够消除降水的时空分布差异,目前应用十分广泛,由 McKee 等在评估美国科罗拉多的干旱状况时提出^[16],目前常用的计算方法是先求出 Gamma 分布概率然后再经正态标准化求得 SPI 值。而众多研究若没有通过对比几种分布后再确定适合区域的分布以计算 SPI 值,则基本上采用 Gamma 分布函数计算 SPI^[17-20]。SPI 的基本公式如下:

$$f(x) = \frac{\gamma_3}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, x > 0 \quad (7)$$

其中 $\Gamma(\gamma) = - \int_0^{\infty} x^\gamma e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (8)$

式中: β, γ 分别为尺度和形状参数, $\beta > 0, \gamma > 0, \beta, \gamma$ 可用极大似然估计方法求得。SPI 的旱涝等级划分如表 1 所示^[21]:

表1 SPI的旱涝等级划分
Table1 Standard of classification grades for SPI

等级	标准化降水指数 S_{SPI}	类型
1	$S_{SPI} > 2$	极涝
2	$1.5 < S_{SPI} \leq 2$	大涝
3	$1 < S_{SPI} \leq 1.5$	偏涝
4	$-1 < S_{SPI} \leq 1$	接近正常
5	$-1.5 < S_{SPI} \leq -1$	偏旱
6	$-2 < S_{SPI} \leq -1.5$	大旱
7	$S_{SPI} \leq -2$	极旱

3 东江流域实例分析

3.1 研究区域与数据

东江流域位于珠江流域东北端,地区范围在 $22^\circ 38' \sim 25^\circ 14' N, 113^\circ 52' \sim 115^\circ 52' E$ 之间。平均气温为 $20 \sim 22^\circ C$, 气温年内差别不大。流域平均年降雨量 1795mm, 汛期雨量占年雨量的 83% 左右, 降水量充沛, 时空变化大。本文采用广东省水文局提供的东江流域 15 个雨量站点(图 1)1960~2010 年的逐月降雨数据, 部分缺失降雨资料采用三次样条函数内插补齐, 数据的均一性得到了验证。

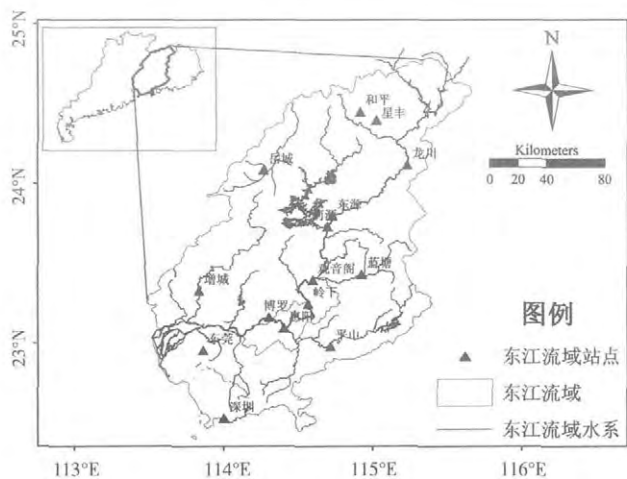


图1 东江流域概况与站点分布

Fig.1 The Dongjiang River basin and distribution of the stations

年逐月降雨量,分别采用现阶段常用的降雨拟合分布(Gamma分布、Weibull分布、对数正态分布)与本文采用的最大熵理论分布分别拟合各站点3个月、6个月以及12个月三种时间尺度的降雨序列,同时依次使用KS,AIC以及AD法计算各分布函数的拟合度。为更加直观地对比4个分布拟合的结果,分别对比统计15个站点不同尺度序列4种分布的KS、AIC以及AD法最优的个数,如利用KS法检验降雨序列时,对同一个降雨序列用4种分布函数拟合,然后分别计算其KS值,Ks值最小(Ks越小,其拟合越优)的分布即统计为此序列的相对最优分布,则其个数标记为1,而相对最优个数的累计则为3种检验方法相对最优个数之和。相对最优比例是相对最优的个数与该时间尺度下降雨序列的个数(合计部分)的比值,而相对最优比例的小计则为相对最优的个数与3倍该时间尺度下降雨序列个数的比值。统计结果如表2所示。

3.2 结果分析与讨论

依据东江流域分布均匀的15个站点1960~2010

表2 四种分布拟合最优的个数与比例

Table1 The optimal number and proportion of the four distribution fittings

分布	时间尺度	相对最优的个数/个				相对最优的比例			
		KS	AIC	AD	小计	KS	AIC	AD	小计
最大熵理论的分布	3个月	49	5	25	79	0.82	0.08	0.42	0.44
	6个月	22	0	22	44	0.73	0	0.73	0.49
	12个月	8	1	9	18	0.53	0.07	0.6	0.4
Gamma分布	3个月	2	10	14	26	0.03	0.17	0.23	0.14
	6个月	3	13	3	19	0.1	0.43	0.1	0.21
	12个月	0	9	2	11	0	0.6	0.13	0.24
Weibull分布	3个月	5	21	3	29	0.08	0.35	0.05	0.16
	6个月	2	7	1	10	0.07	0.23	0.03	0.11
	12个月	6	4	0	10	0.4	0.27	0	0.22
对数正态分布	3个月	4	24	18	46	0.07	0.4	0.3	0.26
	6个月	3	10	4	17	0.1	0.33	0.13	0.19
	12个月	1	1	4	6	0.07	0.07	0.27	0.13
合计	3个月	60	60	60	180	1	1	1	1
	6个月	30	30	30	90	1	1	1	1
	12个月	15	15	15	45	1	1	1	1

根据表2统计结果可知,在3个月时间尺度的降雨序列中,最大熵理论的分布合计KS,AIC以及AD三种方法最优的比例共占0.44,而Gamma分布,Weibull分布以及对数正态分布分别为0.14,0.16,0.26;在6个月的时间序列中,最大熵理论的分布、Gamma分布、Weibull分布以及对数正态分布合计KS,AIC以及AD三种检验方法最优的比例分别为:

0.49,0.21,0.11,0.19;而在12个月的时间序列中,比例分别为:0.40,0.24,0.22,0.13。以上结果表明:最大熵理论的分布在拟合降雨的3、6、12个月时间序列都占有很大的优势,比例都在0.4以上,Gamma分布则次之,而Weibull分布和对数正态分布相差不大,相对于其他三种分布,最大熵理论分布在对降雨的拟合中更为合理。而对比最大熵分布的KS、AIC以及AD中,

AIC 比例最小, 主要是因为 AIC 检验受参数个数的影响较大, 参数越多对拟合度越不利, 最大熵分布由于存在 4 个参数使得 AIC 计算值相对于其他三种分布的更大。而在 KS 和 AD 中, 最大熵分布在 4 种分布中拟合最优的比例都较大, 表明拟合效果良好。

通过上述对比分析可知最大熵分布在 3、6、12 个

月的时间尺度下均能较好的拟合降水分布, 较之另外三种分布, 基于最大熵理论分布的 SPI 值更为精确, 在没有进行拟合优度检验就进行 SPI 计算过程中, 建议优先采用基于最大熵理论分布函数, 它可省略前期假设某种分布的经验性假设, 且其数理依据更为充分。

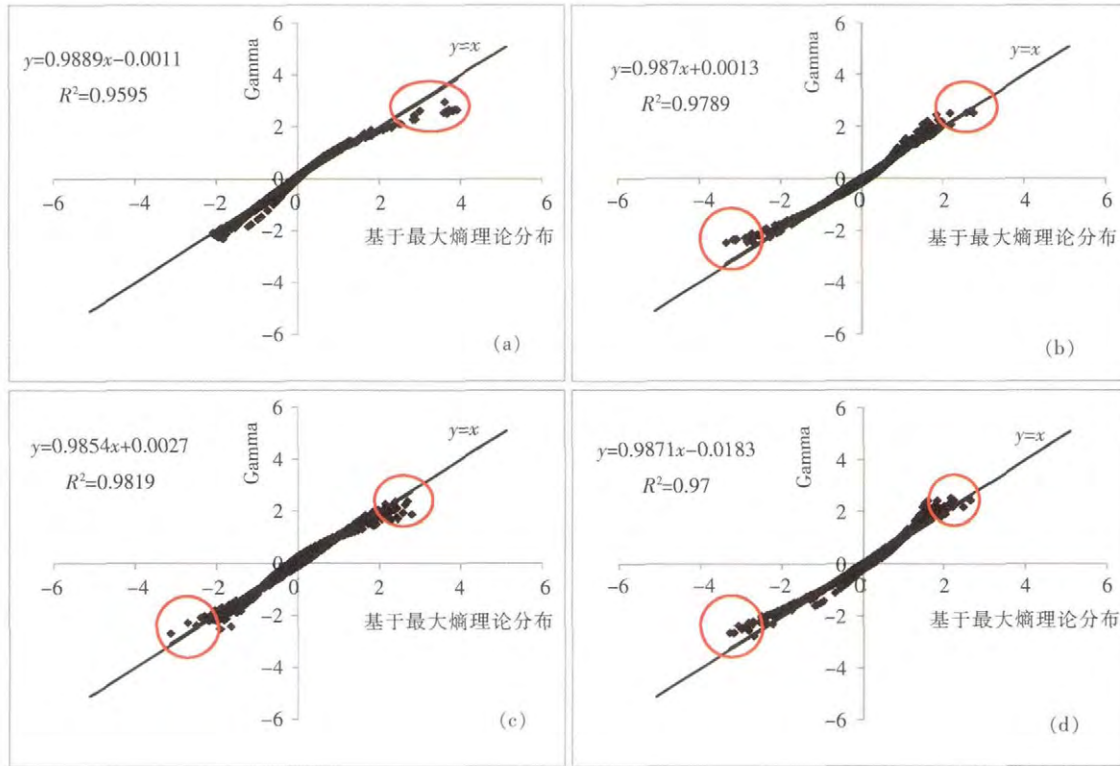


图 2 基于 Gamma 函数和最大熵理论 3 个月尺度的 SPI((a)1~3 月,(b)4~6 月,(c)7~9 月,(d)10~12 月)

Fig.2 3 months SPI based on the Gamma function and maximum entropy theory (a) Jan. to March, (b) April to June, (c) July to Sept., (d) Oct. to Dec.)

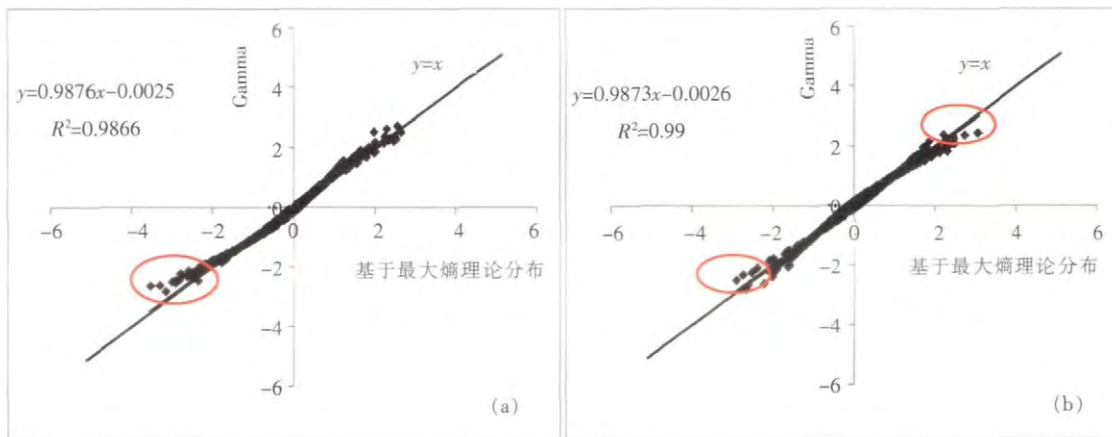


图 3 基于 Gamma 函数和最大熵理论 6 个月尺度的 SPI((a)1~6 月,(b)7~12 月)

Fig.3 6 months SPI based on the Gamma function and maximum entropy theory (a) Jan. to June, (b) July to Dec.)

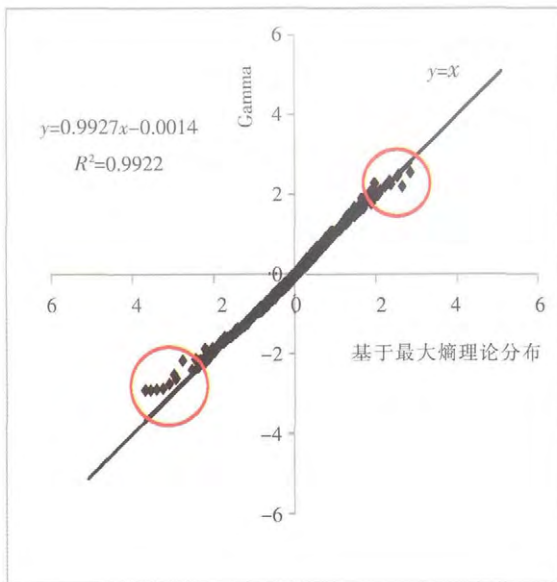


图4 基于Gamma函数和最大熵理论年尺度的SPI
Fig.4 12 months SPI based on the Gamma function and maximum entropy theory

采用最大熵理论分布与目前常用Gamma分布,分别计算东江流域的SPI值,并将两者计算的SPI值进行相关分析,求出两者之间3、6、12个月尺度下的斜率同时与 $y=x$ 直线对比分析,如图2~4所示,横轴代表的是基于最大熵理论分布计算的SPI值,纵轴代表的为利用Gamma函数计算的SPI值。

分析图2~图4可知,各个时间尺度下,两者之间的拟合差别不大, R^2 均达到了0.95以上,同时不难发现,随着时间尺度的增大两者的 R^2 增大,拟合更好,两种分布的差异缩小。与表2对照分析发现,表2中Gamma拟合度也随时间尺度的增大而变优,表明Gamma函数随着时间尺度的增大对降雨拟合的效果更佳,这与SPI的计算结果相吻合。

同时根据图2~图4可知,Gamma分布和最大熵理论分布之间的差别主要体现在头部($SPI>2$)和尾部($SPI<-2$),根据表2可知, $SPI>2$ 和 $SPI<-2$ 分别代表极涝和极旱的情况。本文主要对第一象限的头部($SPI>2$)与第三象限的尾部($SPI<-2$),即极端旱涝的情形进行详细分析。从图2中可以看出,在季节尺度上,第一象限中,在极端洪涝的情况下(即SPI越大),散点在直线下,最大熵理论分布计算的SPI值更大,表明洪涝情况更加严重,最大熵理论分布计算的SPI相比Gamma分布对极端湿润更敏感;而在第三象限中,越是极端干旱的情况下(即SPI越小),散点在直线的上方,说明由最大熵理论分布计算获得的SPI值更小,表明干

旱情况更加严重,最大熵理论分布相比Gamma分布计算的SPI值对极端干旱更为敏感。同理,在半年的尺度(图3)和年尺度(图4)上,基于最大熵理论分布计算的SPI相比Gamma分布对极端旱涝情况更是敏感的结论也成立,并且在年尺度上,效果更加明显,极旱情况下(第三象限尾部)最大熵理论分布计算的SPI相比Gamma分布更小。比较上述最大熵理论分布、Gamma分布、Weibull分布以及对数正态分布对3个时间尺度降雨序列拟合结果,不难发现,相对于另外三种分布,基于最大熵理论分布的SPI值更加准确。

为了验证基于最大熵理论的SPI在旱涝等级评估中的优势及对极端干旱的高度敏感性,查阅《广东水旱风灾害》可知,东江流域历史较典型干旱年份有1962~1963年与1990~1991年两系列年份。选取此两系列年份对比分析Gamma分布与基于最大熵理论的SPI划分等级的差异。1963年的秋冬春干旱是从1962年秋季9月开始至1963年6月(部分地区持续到8月),而1991年秋冬春连旱从1990年秋季9月开始至1991年6月,两系列年份均属于极端干旱的情景。根据1962、1990年6~9、9~12月与1963、1991年1~3、3~6月的计算的Gamma分布与基于最大熵理论的SPI划分等级,累计15个站点在上述时间段3个月时间尺度SPI等级,并用累计基于最大熵理论的SPI等级减去累计Gamma分布的SPI等级,结果发现,基于最大熵理论的结果比Gamma分布分别大6和3,即基于最大熵理论划分的干旱等级大于Gamma分布,由此可知基于最大熵理论的SPI在旱灾等级计算中具有较高的敏感性,进一步表明基于最大熵理论的SPI计算对极端旱涝的判别更为合理。

4 结论

本文通过对比分析最大熵理论分布、Gamma分布、Weibull分布以及对数正态分布对东江流域降雨序列的拟合度,并采用AIC、KS、AD对拟合度进行检验,采用Gamma分布与最大熵理论分布分别计算了东江流域三种时间尺度降雨序列的SPI并对二者的效果进行了对比,主要结论如下:

(1)KS、AIC以及AD三种方法对最大熵理论分布、Gamma分布、Weibull型分布以及对数正态分布的东江流域3、6、12月的水文序列计算的拟合度进行检验的结果表明,基于最大熵理论的分布在拟合降雨的3、6、12个月三个时间尺度上都占很大优势,相对最优

的比例均在0.4以上, Gamma分布次之, 而 Weibull分布和对数正态分布相差不明显。在没有进行拟合优度检验就进行 SPI 计算的情况下, 建议采用最大熵理论分布函数, 此分布可省略前期经验性的假设, 且数理依据更为充分。

(2)通过对比 Gamma 函数和最大熵理论分布两种方法计算的 SPI 值, 两者的差别主要是在头部和尾部, 在 3、6、12 个月的时间尺度上, 基于最大熵理论分布计算的 SPI 值相较于 Gamma 分布, 对极端旱涝情况更为敏感, 并且在年尺度上的效果更加明显。

本文对最大熵理论在降雨序列的拟合和 SPI 的计算作了初步研究, 但是受限于资料, 仅从 3、6、12 个月三种时间尺度上对比分析了最大熵理论分布、Gamma 分布、Weibull 分布以及对数正态分布的对降雨拟合的差异性, 对于月尺度不同分布的拟合情况还有待在日后进一步研究。

参考文献:

- [1] 顾颖, 刘静楠, 林锦. 近 60 年来我国干旱灾害特点和情势分析[J]. 水利水电技术, 2010,41(1):71-74. (GU Ying, LIU Jingnan, LIN Jin. Analysis on characteristics and situation of drought disasters during past 60 years in China [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2010,41(1):71-74. (in Chinese))
- [2] 黄会平. 1949-2007 年我国干旱灾害特征及成因分析[J]. 冰川冻土, 2010, 32(4): 559-665. (HUANG Huiping. Analysis of the characteristics and causes of drought in China from 1949 to 2007 [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2010,32(4):559-665. (in Chinese))
- [3] 李芬, 于文金, 张建新, 等. 干旱灾害评估研究进展[J]. 地理科学进展, 2011,30(7):891-898. (LI Fen, YU Wenjin, ZHANG Jianxin, et al. Review of drought disaster evaluation [J]. Progress in Geography, 2011,30(7):891-898. (in Chinese))
- [4] Ashok K.Mishra, Vijay P. Singh. A review of drought concepts [J]. Journal of Hydrology, 2010,391:202-216.
- [5] 贺晋云, 张明军, 王鹏, 等. 近 50 年西南地区极端干旱气候变化特征 [J]. 地理学报, 2011,66 (9):1179-1190. (HE Jinyun, ZHANG Mingjun, WANG Peng, et al. Climate characteristics of the extreme drought events in southwest China during recent 50 years [J]. Acta Geographica Sinica, 2011,66(9):1179-1190. (in Chinese))
- [6] Juan Du, Jian Fang, Wei Xu ,et al. Analysis of dry/wet conditions using the standardized precipitation index and its potential usefulness for drought/flood monitoring in Hunan Province, China[J]. Stoch Environ Res Risk Assess, 2013,27:377-387.
- [7] Tayeb Raziei, Isabella Bordi, Luis Santos Pereira. Regional drought modes in Iran using the SPI: The effect of time scale and spatial resolution [J]. Water Resources Management, 2013,27:1661-1674.
- [8] Mishra Ashok K, Singh Vijay P. A review of drought concepts [J]. Journal of Hydrology, 2010, 391:202-216.
- [9] J.T SHIAU. Fitting drought duration and severity with two-dimension copulas [J] Water Resources Management, 2006,20:795-815.
- [10] 肖名忠, 张强, 陈永勤, 等. 基于三变量 Copula 函数的东江流域水文干旱频率分析[J]. 自然灾害学报, 2013,22(2):99-108. (XIAO Mingzhong, ZHANG Qiang, CHEN Yongqin, et al. Hydrological drought frequency analysis of east River basin based on trivariate copulas function[J]. Journal of Natural Disasters, 2013,22(2):99-108. (in Chinese))
- [11] Deepak Agrawal; J.K. Singh, Akhilesh Kumar. Maximum entropy-based conditional probability distribution runoff model [J]. Biosystems Engineering,2005,90(1):103-113.
- [12] 陈海涛, 黄鑫, 邱林, 等. 基于最大熵原理的区域农业干旱度概率分布模型 [J]. 水利学报, 2013,44 (2):221-226.(CHEN Haitao, HUANG Xin, QIU Lin ,et al. Probability distribution model of regional agricultural drought degree based on the maximum entropy principle[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013,44(2): 221-226. (in Chinese))
- [13] E.T.JAYNES. Information theory and statistical mechanics [J]. Physical Review,1957,106(4):620-630.
- [14] Simon Michael Papalexou, Demetris Koutsoyiannis. Entropy based derivation of probability distributions: a case study to daily rainfall [J]. Advances in Water Resources, 2012,45:51-57.
- [15] Fadhilah Yusof, Foo Hui-Mean, Jamaludin Suhaila, et al. Rainfall characterisation by application of standardized precipitation index (SPI) in Peninsular Malaysia[J]. Theor Appl Climatol, 2014,115(3-4):503-516.
- [16] B.A.Seiler, M.Hayes, L.Bressan. Using the standardized precipitation index for flood risk monitoring [J]. International Journal of Climatology, 2002,22:1365-1376.
- [17] 郝秀平, 张振伟, 马建琴, 等. 基于标准降水指数的河南省干旱时空演变规律分析[J]. 水电能源科学, 2013,31(9):4-7.(HAO Xiuping, ZHANG Zhenwei, MA Jianqin ,et al. Space-time evolution rule analysis of drought in Henan province based on standardized precipitation index [J]. Water Resources and Power, 2013,31(9): 4-7. (in Chinese))
- [18] 翟禄新, 冯起. 基于 SPI 的西北地区气候干湿变化[J]. 自然资源学报, 2011,26(5):847-857. (ZHAI Luxin, FENG Qi. Dryness/wetness climate variation based on standardized precipitation index in north west China [J]. Journal of Natural Resources, 2011,26(5): 847-857. (in Chinese))
- [19] 周磊, 武建军, 吕爱峰, 等. 华北不同地表覆盖类型区干旱演变特征[J]. 地理研究, 2012,31(4):597-607. (ZHOU Lei, WU Jianjun, LV Aifeng, et al. Drought evolution of different land cover regions in north China [J]. Geographical Research, 2012,31(4): 597-607. (in Chinese))
- [20] 刘可晶, 王文, 朱焯, 等. 淮河流域过去 60 年干旱趋势特征及其与极端降水的联系[J]. 水利学报, 2012, 43(10):1179-1187. (LIU Kejing, WANG Wen, ZHU Ye, et al. Trend of drought and its relationship with extreme precipitation in Huaihe River basin over the last 60 years [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012,43 (10):1179-1187. (in Chinese))
- [21] Zhang Q, SunP, VijayP.Singh, et al. Spatial-temporal precipitation changes (1956-2000) and their implications for agriculture in China [J]. Global and Planetary Change, 2012,82-83:86-95.

Study on SPI Index Based on Maximum Entropy Theory

WU Xiaoqing^{1,2}, CHEN Xiaohong^{1,2}, HE Yanhu^{1,2}, FANG Chunyan^{1,2}

(1. Center for Water Resources and Environment, SunYat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Key Laboratory of Water Cycle and Water Security in Southern China of Guangdong Higher Education Institutes, SunYat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: In order to fill in the gaps of the current standardized precipitation index (SPI) obeying a certain distribution, the SPI index was calculated according to the distribution of the maximum entropy theory. Taking the Dongjiang River Basin as a study case, the theory of maximum entropy distribution, Gamma distribution, Weibull distribution and lognormal distribution probability density function were used to fit for different time scales of precipitation data respectively. And AIC, KS, AD were used to test the results of fit goodness. The calculation of SPI with the maximum entropy theory and the Gamma distribution were comparatively analyzed. The results show that: when being compared with other three kinds of distribution, the distribution of the maximum entropy theory probability density function fits better for 3, 6, 12 months of precipitation data from 15 stations in the Dongjiang River Basin; in the case of extreme drought (flood), relative to the Gamma distribution, the SPI calculated with the distribution of the maximum entropy theory is smaller (larger), which suggests that the distribution of the maximum entropy theory is more sensitive to deal with the extreme drought (flood).

Key words: SPI; maximum entropy; fitting distribution; extreme disaster; Dongjiang River Basin

(上接第 13 页)

- [2] 蒋建平,李树明. ADCP 在泥沙扩散测验中的应用[J]. 水利水文自动化, 2005,9(3):38-40. (JIANG Jianping, LI Shuming. Application of ADCP in sediment diffusion tests [J]. Automation in Water Resources and Hydrology, 2005,9(3):38-40. (in Chinese)).
- [3] 王爱军,汪亚平,王抒. 声学多普勒仪器盲区处理及其在长江口区域的应用 [J]. 水利学报, 2004,9 (9):77-82. (WANG Aijun, WANG Yaping, WANG Shu. Determination of current velocity in blank layer of ADCP [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004,9(9)77-82. (in Chinese))
- [4] 田淳,刘少华. 声学多普勒测流原理及其应用[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2003.12. (TIAN Chun, LIU Shaohua. Acoustic Doppler Current Principles and Applications [M]. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press, 2003.12. (in Chinese))
- [5] 王元叶,何青. 声学多普勒流速剖面仪近底有效流速数据处理初步研究[J]. 水科学进展, 2008,19(3):395-397. (WANG Yuanye, HE Qing. Near bed velocity treatment of Acoustic Doppler Current Profiler [J]. Advance in Water Science, 2008,19(3):395-397. (in Chinese))
- [6] 林辉勇. 声学多普勒流速剖面仪在河流水文测验中的应用[J]. 中国水利, 2003,9B:37-39. (LIN Huiyong. Application of ADCP in river hydrology test [J]. China Water Resources, 2003,9B:37-39. (in Chinese))
- [7] 程琛,王鹏飞. 两种测流设备的测量结果对比分析[J]. 气象水文海洋仪器, 2011,9(3):25-27. (CHENG Chen, WANG Pengfei. Comparisons for measurement results between two current measures [J]. Meteorological, Hydrological and Marine Instruments, 2011,9(3):25-27. (in Chinese))
- [8] 黄河宁. ADCP 流量测验随机误差分析 I: 随机不确定度预测模型[J]. 水利学报, 2006,5, 37 (5):619-624. (HUANG Hening. ADCP discharge random error analysis I: random uncertainty prediction model [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006,5,37(5):619-624.(in Chinese))
- [9] 马峥,陈红勋. 曲面拟合和曲面积分在流量计算中的应用[J]. 排灌机械, 2013,22 (3):18-21. (MA Zheng, CHEN Hongxun. Application of surface-fitting and surface numerical integration on calculation of flow [J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2013,22(3):18-21. (in Chinese))

ADCP Flow Generation Model and Corresponding Calculation Method

HAN Jiwei, FU Weijie, TANG Yueping, SHAO Jun

(Nanjing Automation Institute of Water Conservancy and Hydrology,

Research Center of Hydrology and Water Resources Monitoring, Ministry of Water Resources, Nanjing 210012, China)

Abstract: How to quickly and accurately monitor the river flow, it has been always the study object for many hydrologists. ADCP is an advanced flow test equipment. This paper analyzed the ADCP's mechanism, proposed the concept of ADCP flow generation model, analyzed the structure of ADCP flow generation model and constructed ADCP flow generation model at last. According to flow generation model developing the ADCP flow calculation program, calculated the data by this program, and the result is very similar with that by Winriver software. It confirmed that this flow generation model is correct. And it has made a good beginning of ADCP's localization.

Key words: ADCP flow generation model; flow calculation method; Winriver; programming