

Grey Forecasting of Flood Disaster and Characteristics of Summer Grading-Precipitation in Togtoh County

Qimuge¹, Buren^{2,*}, Xiaojun Huang³

¹Geographical Science Institute, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China

²Natural Disaster Prevention Research Institute, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022,China

³Inner Mongolia Key Laboratory of Remote Sensing and Geographic Information System, China

托克托县夏季分级降雨特征及洪涝灾害灰色预测

其木格¹, 布仁^{2,*}, 黄晓君³

¹内蒙古师范大学地理科学学院, 呼和浩特 010022, 中国

²内蒙古师范大学地理科学学院, 内蒙古师范大学自然灾害防治研究所, 呼和浩特 010022, 中国

³内蒙古师范大学地理科学学院, 内蒙古自治区遥感与地理信息系统重点实验室, 呼和浩特 010022, 中国

Abstract

Flood disaster is one of the meteorological disasters which has a great frequency and is more serious in China. Because of the geographical location of Togtoh County, the rainfall is often concentrated in the summer, so the summer rainfall in the region has a direct impact on the occurrence of floods. Based on Togtoh County's daily precipitation observational data during the period of 1993-2012 in summer, the secular trend and features of grading-precipitation's rain days and rainfall is studied. In addition, the year of flood was predicted. It is pointed out that there is a slight decreasing trend in summer rainfall and rainfall days in Togtoh County in recent 20 years, only the heavy rain and heavy rain days had an increasing trend. Prediction results show that the summer rainfall in Togtoh county from 2021 to 2022 is more than 246mm, that is, the abundance of water in summer, it is very easy to occur flood disaster.

*通讯作者: 布仁, E-mail:burenjiri@163.com

Keywords: Togtoh County, precipitation flood disaster, grey forecasting

摘要

洪涝灾害是我国发生频率较大、危害较为严重的气象灾害之一。由于托克托县所处地理位置因素,使其降雨常常集中在夏季,因而夏季的降雨量对该地区洪涝灾害发生有着直接的影响。本文利用1993~2012年6~8月托克托县逐日降雨资料,研究托克托县6~8月分级降雨日、降雨量变化趋势。此外,对洪涝年出现的年份进行了灰色预测。研究结果显示,托克托县近20年夏季降雨量及降雨日数有略微减少趋势,其中只有暴雨量及暴雨日数有增长趋势。预测结果显示,托克托县2021~2022年夏季降雨量在246mm以上,即为丰水夏季,极易发生洪涝。

关键词: 托克托县 降雨 洪涝灾害 灰色预测

洪涝灾害是世界上发生比较频繁,危害比较严重的一种气象灾害。洪涝灾害对国民经济建设和农业生产危害极大。大多情况下,洪涝灾害都是由于该地区当时降水量过大造成的。

因此掌握其降水特征,可为防洪措施及其预测提供科学依据。

洪涝灾害研究主要集中于洪涝灾害机理研究、风险分析研究及预警预测研究[1-6]。基于降雨对于洪涝灾害发生影响较大,国内外的专家学者对其做了大量研究。王云芳、李又君等采用线性回归、5年滑动平均法、自相关分析、M-K检验法分析了降雨序列的年际、年内变化特征及变化趋势^[7]。徐盼盼、王海科等基于宝鸡地区1961-2013年的逐月降水实测资料,利用累计距平法、模比系数差积曲线法、趋势法等对宝鸡地区的降水特征进行分析^[8]。杨佳、钱慧等基于西安市1951-2013年降水实测资料,利用距平、累计距平和Mann-Kendall检验的方法对降水特征进行分析,用BP神经网络模型对年降水量进行模拟预测^[9]。林振敏等通过广西87个测站1977~2006年6~8月逐日的降雨资料,研究了广西分级降雨日、降雨量的时空分布特征及其变化的趋势^[10]。M. Cannarozzo et al 利用非参数统计的Mann-Kendall(等级相关法)验证了降雨月的、季度的和年趋势存在^[11]。孙风华、袁健等采用沈阳、大连、丹东、营口、朝阳5个测站1953~2001年的年降雨量数据分析了其近50年的变化规律,并以此序列为基础建立了干旱发生的灾变序列,以灰色系统GM(1,1)模型探讨其旱灾预测问题^[12]。张善余等以灰色系统理论GM(1,1)模型利用渔梁水文站年降雨量为资料,对未来洪涝灾害进行预测,并探讨其在气象、洪涝预测中的应用问题^[13]。

近几年对于区域洪涝灾害的研究较多,对呼和浩特市降雨的研究工作也有所涉及,但是专门针对具有特殊孕灾环境的托克托县的研究较少,且有关部门和生产单位迫切需要准确的洪涝灾害发生年份的预报。现利用托克托县的降雨资料分析其区域的降雨量变化特征,并通过灰色模型进行丰水年的预测,从而确定洪涝灾害发生年份。

托克托县隶属于内蒙古自治区首府呼和浩特市,位于自治区中部、大青山南麓、黄河上中游分界处北岸的土默川平原上。地理坐标在东经 $111^{\circ} 2' 30''$ - $111^{\circ} 32' 21''$ 、北纬 $40^{\circ} 5' 55''$ - $4^{\circ} 35' 15''$,托克托县平均海拔1132米,总面积

1416.8平方公里。黄河流经县境37.5公里。自然地理为黄土高原。其地貌为东南高,西北、西南低,由丘陵地形过渡到宽广的平原地形。托克托县深处内陆,远离海洋,经常受冷空气的侵袭。具有显著的北温带大陆性气候特点。又由于依山傍河,有明显的区域性气候特征,冬季漫长而干冷,夏季短暂而温湿。冷暖变化剧烈,雨量少,气候干燥。年平均气温为 7.1°C 。一年中最冷的月(1月)平均气温为 -11.6°C ,最热的月(7月)平均气温为 23.1°C 。年平均降雨量357毫米,年最多降水量为705毫米,年最少降水量为162毫米。夏季雨量过分集中,且不稳定,加之万水归托的地形,县境极易形成洪涝灾害。但在降雨少的年份,则易发生夏旱。托克托水资源总量为68148.2万立方米。其中,地表水53354.4万立方米,地下水14793.8万立方米。县境内有7条河流。除黄河为过境河流,大黑河、什拉乌素河、宝贝河、杠房河、银号河、沙河均为入境季节性河流。



图1. 研究区区位图

Figure 1. Location of study area

1. 数据资料与研究方法

1.1 数据资料

使用托克托县雨量站1993-2012年实测的逐日降水资料,资料划分为夏季有效降雨量(6~8月)、小雨量、中雨量、大雨量、暴雨量。本文所应用的托克托县逐日降水资料来自于中国气象数据网。

1.2 研究方法

运用数理统计学分析方法,计算气候倾向率,线性回归分析法对托克托县分级降水量年际变化趋势进行分析,并基于 Spearman 秩次相关检验法进行显著性检验。

1.2.1 气候倾向率

随着时间序列的增长,对要素序列的各值平均而言,或是增加或是减少,形成序列在相当长时期里向上或向下的缓慢移动,这种有一定规则的变化成为趋势(序列的趋势变化可以用一次线性回归方程 $y=ax+b$ 表示,式中, y 为年气候特征值, a 为气候倾向率,用于定量描述序列的趋势变化特征。

1.2.2 Spearman 秩次相关检验法

本文 Spearman 秩次相关检验法主要是通过分析降雨量序列 x_i 与其时序 i 的相关性而检验降雨序列是否具有趋势性。在运算时降雨序列 x_i 用其秩次 R_i 代表,则秩次相关系数为:

$$r = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n} \quad (1)$$

式中: n 为序列长度; $d_i = R_i - i$ 。

通常采用 t 检验法检验降雨序列的趋势性是否显著,统计量 T 的公式 $T = r\sqrt{(n-4)/(1-r^2)}$ (2)

T 服从自由度为 $(n-2)$ 的分布,设假设为序列无趋势,则根据水文序列的秩次相关系数计算 T 统计量,然后选择显著性水平 α ,在 t 分布中查出临界值 $t_{\alpha/2}$,当 $|T| \geq t_{\alpha/2}$ 时。则拒绝原假设,说明序列趋势明显,否则,拒绝接受原假设,趋势不显著^[4]。

1.2.3 灰色分析法

灰色分析方法是学者邓聚龙于 1982 年首先创立,并逐渐发展为系统理论的一个重要分支。灰色分析方法的研究对象是“部分信息已知、部分信息未知”的“小样本”、“贫信息”不确定性系统,它通过对“部分”已知信息的挖掘,实现了现实世界较确切的描述和认识。“部分信息已知、部分信息未知”的特性,称为“灰色性”。

灰色灾害预测模型就是灰色动态模型的一种。一般对表征系统行为特征的指标超过了某个阈值则称其发生了灾害,因此灾变是针对于所研究问题的表征变量而定的。它可以对多种自然灾害进行预测,是减轻灾害并做出决策的重要预测模型之一。

灾变预测的具体步骤如下:首先建立灾变预测模型的,对于某一特征值序列 $\{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(N)\}$ 规定其灾变阈值 γ ,然后把大于或小于这个阈值的点按原来的编序挑选出来组成一个新的数据序列,再做灾变映射得出灾变日期序列,最后建立 GM (1,1) 模型对灾变日期进行预测^[15]。

2. 研究结果与分析

2.1 分级降雨特征分析

2.1.1 研究区分级降雨平均特征分析

6~8 月份是托克托县主要的降雨季节,也是该县容易发生洪涝灾害的季节,因此,对托克托县 6~8 月降水的研究尤显重要。全球变暖的大趋势下,托克托县的 6-8 月的各级降水雨日(量)的变化趋势如何?各级降水雨日(量)的变化是否与洪涝灾害有关。

根据日降雨量将降水分为四级:小雨,中雨,大雨,暴雨。各级别的降水天数即为该级别的雨日。四个级别的雨量(日)之和就是总雨量(日)。四个降水级别的划分标准如下表 1。

表 1. 降水级别的划分标准
Table 1. Criterion of precipitation grade

降水级别	小雨	中雨	大雨	暴雨
降雨量 (mm/d)	[0, 10)	[10, 25)	[25, 50)	>=50

由表 2 可知,托克托县平均的 6~8 月总雨日为 29 日,降水概率为 31.57% (= 29.05/92, 92 为 6~8 月总天数), 10 天内将近有三天有雨。在各级降水中,雨日最多的是小雨,达 23 日,占有效降水总雨日的 79.35%,但其降雨量只占季节总雨量的 32.6%。其次为中雨和大雨,分别为 4.55 日和 1.2 日。暴雨的雨日最少,不到 1 日。但中雨、大雨及暴雨的降水雨日只占总雨日的 20.65%,其降雨量却占季节总降雨量的 67.4%。

可以说,6~8月托克托县的降水主要是由中雨以上的降水贡献的。

表 2. 托县分级降水雨日、雨量的对比分析

Table 2. Comparative analysis of grading precipitation and rainy days

	有效降水	小雨	中雨	大雨	暴雨
雨日 (d)	29.0	23.0	4.55	1.2	0.25
降雨量 (mm)	197.235	64.275	76.215	40.09	16.355
日均降雨量	6.79	2.79	16.7	33.4	65.4
雨日占总雨日的比例	100	79.3	15.6	4.13	0.86
降雨量占总降雨量的比例	100	32.6	38.6	20.3	8.30

2.1.2 分级降雨日(量) 年际变化趋势分析

由图 2 可知,托克托县有效降水总雨日数是一个很明显的负趋势。小雨、中雨和大雨雨日是负趋势,其中只有暴雨雨日是正趋势,暴雨日数的变化率为 0.017,是个不明显的正趋势。也就是说 20 年来托克托县的 6~8 月有效降水日数略微下降的趋势下,小雨、中雨和大雨雨日数是减少的,而只有暴雨日数增加。

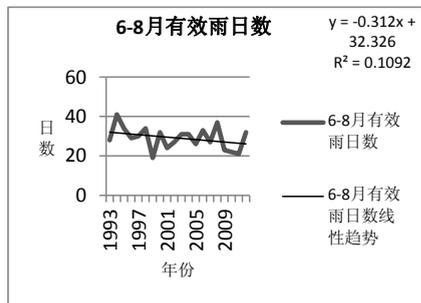
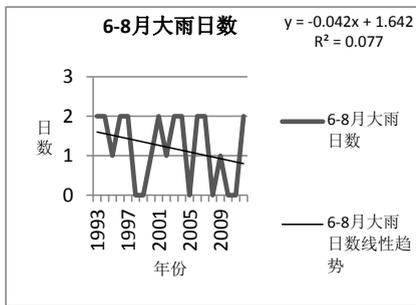
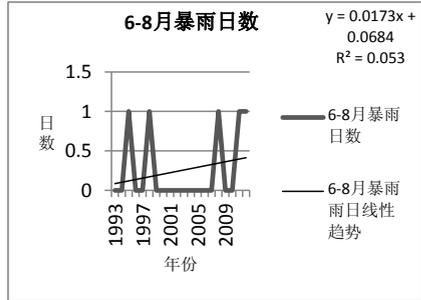
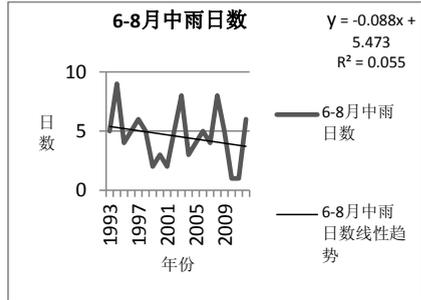
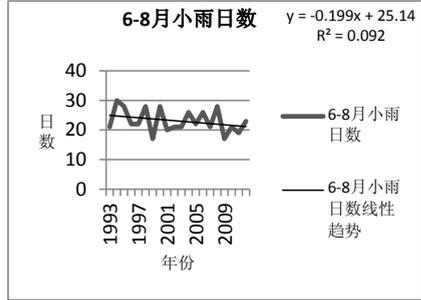


图 2. 6~8 月分级雨日的年际间变化
Figure 2. 6~8month's interannual changes of grading rainy days

Risk Analysis and Crisis Response in Big Data Era (RAC-16)

由图 3 可知, 托克托县 6~8 月有效降水总雨量是有减少趋势, 总雨量变化率为-3.216, 小雨、中雨、大雨雨量是负趋势, 其中中雨雨量的负趋势较为明显, 其变化率为-1.914。而只有暴雨雨量是正趋势, 也就是有效降雨量减少的情况下暴雨雨量有增加趋势。

比较图 2 和 3 可知, 对于分级降水来说, 雨日和雨量的变化趋势是一致的, 这说明各级别的雨量的增加(减少)是由相应级别的降雨日数的增加(减少)引起的。

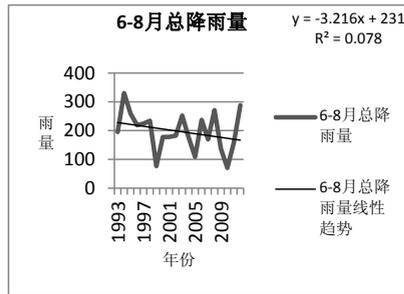
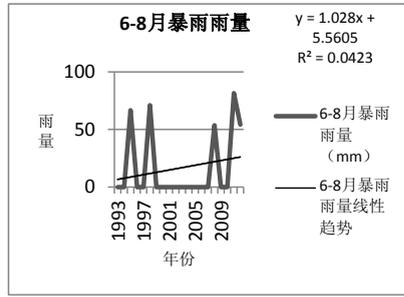
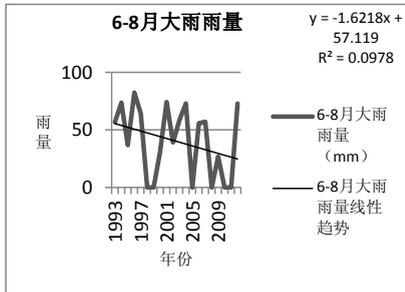
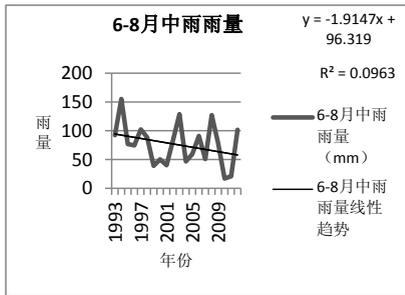
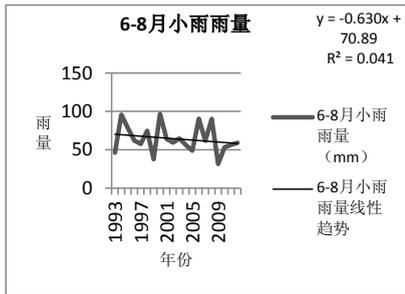


图 3. 6~8 月分级雨量的年际间变化

Figure 3. 6~8 month's interannual changes of precipitation

2.1.3 分级降雨雨日(量)年际变化趋势的显著性检验

从表 3 可知, 小雨、中雨、大雨和有效雨日数均呈减少趋势, 但其递减趋势不显著。暴雨日数成增加趋势, 其递增趋势不显著。降雨日的平均年变化率小雨日的最大, 为-0.199d/a, 暴雨日的最小, 为 0.017d/a。

表 3. 托克托县分级降雨日数变化趋势检验
Table 3. Trend test of grading-precipitation rainy days

级别	Spearman 统计量 T	降雨变 化率	临界值 $\alpha=5\%$	趋势性
小雨日	-1.13	-0.199	2.1	不显著
中雨日	-0.83	-0.088	2.1	不显著
大雨日	-1.12	-0.042	2.1	不显著
暴雨日	0.95	0.017	2.1	不显著
有效雨日	-1.30	-0.312	2.1	不显著

从表 4 可知,小雨量、中雨量、大雨量和总降雨量均呈减少趋势,但其递减趋势在 $\alpha = 5\%$ 的显著性水平下,其趋势并不显著。而具有增加趋势的暴雨量在 $\alpha = 5\%$ 的显著性水平下,其趋势并不显著。

表 4. 托克托县分级降雨雨量变化趋势检验

级别	Spearman 统计量 T	降雨变化率	临界值 $\alpha = 5\%$	趋势性
小雨量	-0.99	-0.63	2.1	不显著
中雨量	-1.06	-1.91	2.1	不显著
大雨量	-1.41	-1.62	2.1	不显著
暴雨量	0.87	1.03	2.1	不显著
总降雨量	-1.26	-3.22	2.1	不显著

2.2 托克托县洪涝灾害灰色预测

2.2.1 灰色预测模型

本文以托克托县 20 年的降水资料,用灰色系统理论 GM(1,1)模型对未来洪涝灾害进行预测。以夏季降水量 246mm 作为异常指标,即超过历年夏季降水量 25%作为异常指标选取依据,从统计资料中可知,在阈值以上的年份有 1994、1998、2003、2008、2012 年,其相应的 $x^{(0)}$ 和 $x^{(1)}$ 一并列入表 5。建立 GM(1,1)模型具体步骤如下:

- 对数据的序列 $\{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(N)\}$ 做一次累加生成,得到 $\{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), x^{(1)}(3), \dots, x^{(1)}(N)\}$, 由表 1 可知,以序号为集合元素时 $x^{(0)}(t+1) = \{2, 6, 11, 16, 20\}$, 作累加生成 AGO 时 $x^{(1)}(t+1) = \{2, 8, 19, 35, 55\}$ 。

- 构造累加矩阵 B 与常数向量 Y_N , 即

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(N-1) + x^{(1)}(N)) & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -5 & 1 \\ -13.5 & 1 \\ -27 & 1 \\ -45 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Y_N = \begin{bmatrix} 6 \\ 11 \\ 16 \\ 20 \end{bmatrix}$$

- 利用最小二乘法去求解灰参数 \hat{a} :

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix}^T = (B^T B)^{-1} B^T Y_N \quad (3)$$

由此可知, $a = -0.340789384$, $u = 5.539640194$,

$$\frac{u}{a} = -16.25531915。$$

- 将灰参数带入时间函数:

$$\hat{x}^{(1)}(t+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{u}{a}\right) e^{-at} + \frac{u}{a} \quad (4)$$

故 $\hat{x}^{(1)}(t+1)$ 为:

$$\hat{x}^{(1)}(t+1) = 18.25531915e^{0.340789384t} - 16.25531915$$

表 5. 模型预测计算表

Table 5. Calculation results of model prediction

T	0	1	2	3	4
年份	1994	1998	2003	2008	2012
$x^{(0)}(t)$	2	6	11	16	20
$\hat{x}^{(0)}(t+1)$	2	7.413	10.423	14.655	20.605
$x^{(1)}(t)$	2	8	19	35	55
$\hat{x}^{(1)}(t)$	2	9.413	19.835	34.490	55.096

2.2.2 灰色预测模型的检验

上述 $\hat{x}^{(1)}(t+1)$ 模型计算值与实测值,还原数据与实际数据,一并列于表 5。并进行如下后验差和关联度检验。

后验差检验:后验差检验可对模型精度的等级标准做出合理评价,按照精度检验 C 与 P 两个指标,对照其等级标准(表 6),以便综合评定预测模型的精度^[16]。

表 6. 等级标准和检验指标表

Table 6. Grade standard and inspection index table

等级标准 \ 检验指标	P	C
好	>0.95	<0.35
合格	>0.85	<0.50
勉强	>0.70	<0.65
不合格	≤0.70	≥0.65

$$\bar{x}^{(0)} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x^{(0)}(t) = 11 \quad (5)$$

$$s_1 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n [x^{(0)}(t) - \bar{x}^{(0)}]^2} = 7.28 \quad (6)$$

求得残差： $\varepsilon^{(0)}(1) = 0$ ， $\varepsilon^{(0)}(2) = -1.4127$ ， $\varepsilon^{(0)}(3) = 0.5773$ ， $\varepsilon^{(0)}(4) = 1.34512$ ， $\varepsilon^{(0)}(5) = -0.6056$ ，则残差均值和方差分别为：

$$\bar{\varepsilon}^{(0)} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \varepsilon^{(0)}(t) = -0.01917 \quad (7)$$

$$s_2 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n [q^{(0)}(t) - \bar{q}^{(0)}]^2} = 1.0610 \quad (8)$$

后验差比值： $c = \frac{s_2}{s_1} = 0.1457 < 0.35$ 。

小误差频率 $p = p\{\varepsilon(t) < 0.6475S_1\} = \{|\varepsilon(t) < 4.9104|\} = 1$

因此 $p=1 > 0.95, c < 0.35$ ，模型精度为最好。

关联度检验：关联度检验是对经过一定处理后的水文资料数据样本与评价标准样本间作距离分析。因此关联度是用来定量描述各变化过程之间的差别。关联系数越大，模型计算值与实际值变化趋势越接近^[17]。

以 $x^{(1)}$ 作为参考列 $\hat{x}^{(1)}$ 作关联度分析，求绝对值以 $\Delta(t+1) = |\hat{x}^{(1)}(t+1) - x^{(1)}(t+1)|$ ，因理论上 $\hat{x}^{(1)} = x^{(1)}$ ，故 $\Delta(1) = 0$ 则有： $\Delta(2) = 1.4127$ ， $\Delta(3) = 0.8354$ ， $\Delta(4) = 0.5097$ ， $\Delta(5) = 0.0959$ 。

关联系数则为：

$$\xi_i(t) = \frac{\min_i \min_t |x_0(t) - x_i(t)| + \rho \max_i \max_t |x_0(t) - x_i(t)|}{[|x_0(t) - x_i(t)| + \rho \max_i \max_t |x_0(t) - x_i(t)]} \quad (9)$$

对上式有：

$$(1) |x_0(t) - x_i(t)| = \Delta(k) \quad (\text{因为 } i=1)$$

$$(2) \min_i \min_t |x_0(t) - x_i(t)| = 0$$

(3) 取 $\rho = 0.5$

$$(4) \max_i \max_t |x_0(t) - x_i(t)| = 1.4127$$

得出 $\xi(1) = 1$ ， $\xi(2) = 0.3333$ ， $\xi(3) = 0.4582$ ， $\xi(4) = 0.5808$ ， $\xi(5) = 0.8805$ 。

关联度：

$$\xi = \frac{1}{5} \sum_{t=1}^n \xi(t) = 0.6506 > 0.6$$

，模型是令人满意的，预测是可信的。

2.2.3 模型预测的应用

$t=5$

$$\hat{x}^{(1)}(6) = 18.25531915e^{0.340789384t} - 16.25531915 = 84.0685$$

$$\hat{x}^{(0)}(6) = 84.0685 - 55 = 29.0685$$

29.0685-(原序号)20=9.0685,即 2012 年 +9.06=2021-2022 年,相当于 2021-2022 年夏季 6~8 月份极有可能发生洪涝灾害,其该年 6~8 月降水量在 246mm 以上。

3. 结论与讨论

3.1 结论

本文通过分析托克托县夏季降雨资料，得出了托克托县夏季分级降雨量及降雨日数的变化特征，并建立灰色预测模型，对托克托县未来夏季降雨量进行了预测，并得出了以下结论。

(1) 托克托县 6~8 月有效降雨总日数及总降雨量都有不显著的减少趋势，其中小雨、中雨、大雨的日数和降雨量都有减少趋势，而只有暴雨日数和暴雨量有不显著的增加趋势。从以上可分析出，托克托县 6~8 月各级降雨量的减少或增加是有相应级别的日数增加或减少引起的。

(2) 基于灰色预测模型得到未来托克托县最有可能发生洪涝灾害的年份为 2021-2022 年夏季，其夏季 6~8 月降雨量在 246mm 以上。

3.2 讨论

本文应用的方法及模型仍需结合其他方法，提高其预测精度。

(1) 首先，在托克托县分级降雨及洪涝灾害预测研究中，本文基于夏季 6~8 月降雨量

进行洪涝灾害发生年份的预测,可是由于数据获取的原因,灰色预测没能在实际洪涝灾情中去验证。

(2) 其次,灰色预测符合水文现象的周期性及随机性的规律,但序列本身的好坏将影响预测模型的预测能力,因此想在以后的研究中相结合其他方法,提高其预测精度。

致谢

本研究得到了基于 3s 技术的城镇暴雨洪水灾害风险评估与应急管理关键技术研究项目资助(项目编号: 201502095)

参考文献

- [1] 蒋新宇,季钰,张继权,佟志军,包玉龙,陈鹏,姜懿鹏. 基于 GIS 的城市暴雨积涝灾害危险性模拟研究, 中国视角的风险分析和危机反应, 黄崇福, 张继权、周宗放编. 巴黎: Atlantis 出版社, 2010.280-284.
- [2] 董姝娜,姜懿鹏,张继权,佟志军,刘兴朋. 基于 RS 与 GIS 的口前镇洪涝灾害危险性评价研究风险分析和危机反应的创新理论和方法, 黄崇福, 翟国方编. 巴黎: Atlantis 出版社, 2012. 282-285.
- [3] 春风,李春兰,包刚,银山,包玉海. 近 13 年呼和浩特市年平均气温和降水量特征分析. 风险分析和危机反应中的信息技术, 黄崇福, 包玉海, 赵思健编. 巴黎: Atlantis 出版社, 2014.562-567.
- [4] 贺山峰,高秀华. 洪涝灾害灾机理分析及应对策略研究. 河南理工大学学报(社会科学版),2016,02:55-60.
- [5] X. Pang, Dynamic Vulnerability analysis of population for flood disaster in urban area. Journal of Risk Analysis and Crisis Response, 2013, 3(4): 166-174.
- [6] S.J. Li, Y.X. Xie, X.T. Cheng, Z.F. Chen. Utilization of flood simulation technique in urban flood warning - a case study on Fuzhou. Journal of Risk Analysis and Crisis Response, 2015, 5(2): 120-128.
- [7] 王云芳,李义君,周晓倩,李雪源,席晓彤. 聊城市降水量变化趋势分析. 安徽农业科学,2015,26:207-210+265.
- [8] 徐盼盼,王海科,钱会. 宝鸡地区降水特征分析. 水资源与水工程学报, 2016, 02: 86-91.
- [9] 杨佳,钱会,高燕燕,霍晨琛. 西安市多年降水特征分析及降水量预测. 南水北调与水利科技,2016,03:30-35.
- [10] 林振敏,姚才,郑宏翔,张薇. 广西 6~8 月分级降水的气候特征. 气象研究与应
用,2007,02:36-41.
- [11] M. Cannarozzo, L.V. Noto, F. Viola. Spatial distribution of rainfall trends in Sicily (1921-2000). Physics and Chemistry of the Earth, 2006, 31 (3): 1201-1211.
- [12] 孙风华,袁健. 辽宁省近 50 年降水序列变化规律及干旱预测. 气象,2004,06:32-35.
- [13] 张善余,程胜余. 洪涝灾害的灰色预测. 水文,2000,02:23-25.
- [14] 张建云,王国庆. 气候变化对水文水资源影响研究. 北京: 科学出版社,2007.
- [15] 徐建华. 现代地理学中的数学方法. 北京: 高等教育出版社,2002.
- [16] 李祥,王心源,李玉龙,张广胜,章敏. 基于灰色-马尔科夫预测模型的巢湖流域洪涝灾害预测研究. 水文,2006,04:43-46+54.
- [17] 陈新国, 馨丽. 基于残差修正 GM(1, 1) 模型的年降水量预测研究, 水资源研究. 2014, 35(4):4-6.