

# 基于时间序列的胶东半岛异常降水灰色预测模型

林修栋<sup>1</sup>, 王娜<sup>2</sup>, 张瑜洁<sup>3</sup>, 杨琳<sup>3</sup>, 刘君秀<sup>1</sup>

(1. 山东省石岛气象台, 山东石岛 264309; 2. 烟台市海洋环境监测预报中心, 山东烟台 264003; 3. 山东省烟台市气象局, 山东烟台 264003)

**摘要** 利用胶东半岛地区 24 个气象观测站 1981~2010 年的年降水资料, 根据灰色系统理论及其建模原理, 建立了胶东半岛异常降水的灰色预测 GM(1,1) 模型, 并对 2011~2030 年的异常降水进行了预测和对比论证。结果表明, 建立的模型精度较高, 通过了残差与后验差检验分析, 达到优秀标准; 2011~2014 年的预测结果与实际吻合较好, 表明结论可以用于预测; 短期预测认为 2015 和 2017 年在烟台可能出现降水异常, 表现为偏少; 2016 年在青岛和烟台可能出现降水异常, 表现为偏多。

**关键词** 时间序列; 降水量; 异常降水; GM(1,1) 模型; 灰色系统

**中图分类号** S161.6; P468.0+24 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)23-177-03

## Grey Model Established on Time Series of Anomalous Precipitation on Jiaodong Peninsula

LIN Xiu-dong<sup>1</sup>, WANG Na<sup>2</sup>, ZHANG Yu-jie<sup>3</sup> et al (1. Meteorological Bureau of Shidao, Weihai, Shandong 264309; 2. Yantai marine environmental monitoring and forecasting center, Yantai, Shandong 264003; 3. Meteorological Bureau of Yantai, Yantai, Shandong 264003)

**Abstract** With the annual precipitation data of 24 meteorological observation stations on Jiaodong Peninsula over the past 30 years (1981-2010), according to the principle of grey system theory and modeling, the anomalous precipitation grey prediction GM(1,1) model of the area was established, then anomalous precipitation from 2011 to 2030 were forecasted. The model of which the analysis of residuals and posterior difference test reached excellent standard was in high precision. The forecast from 2011 to 2014 were agreed well with results, the conclusion can be used to predict. The initial projections for the future years shows that in year 2014 and 2017 of Yantai with less anomalous precipitation, 2016 of Qingdao and Yantai with more anomalous precipitation may occur.

**Key words** Time series; Precipitation; Anomalous precipitation; GM(1,1) model; Grey system

气象灾害是指不利(有害)天气或气候对经济(尤其农业生产)、社会(人类生命财产)等所造成灾害的总和。自 20 世纪 80 年代以来, 受全球气候暖化的影响, 重大气象灾害以及由气象灾害引发或衍生的其他灾害对社会经济建设、人民生命财产安全构成极大威胁, 由于其致灾性, 极端气候事件越来越受到社会的普遍关注<sup>[1-2]</sup>。降水多寡而引起的洪水、涝(渍)害、湿害、凌汛、冻涝、草原白害, 以及大气干旱、土壤干旱、作物生理干旱、草原黑灾是最常见也是影响最大的气象灾害, 而衍生的山洪、泥石流、连阴雨、干热风、焚风、台风、暴风雪等灾害也频繁出现<sup>[3-4]</sup>。胶东半岛在气候上属于暖温带季风型大陆性气候区, 年均降水量 661.0 mm, 最多年降水量 959.4 mm, 最少年降水量 418.2 mm, 相差一倍有余。降水的异常对胶东半岛的生态文明、社会发展有着极为显著的影响<sup>[5-8]</sup>, 加强对胶东半岛地区异常降水规律的研究, 可提出科学防灾的对策建议, 避免或减轻灾害造成的影响。笔者利用胶东半岛地区 24 个气象观测站 1981~2010 年降水资料, 根据灰色系统理论及其建模原理, 建立了胶东半岛异常降水的灰色预测 GM(1,1) 模型, 并对 2011~2030 年异常降水进行了预测和对比论证。

## 1 资料与方法

采用胶东半岛地区烟台、威海和青岛所辖 24 个国家级气象观测站 1981~2010 年实测的年降水量数据; 计算降水距平百分率后, 利用标准化降水指数(SPI)计算方法统计 24 个气象台站的近 30 年年 SPI 指数, 建立异常降水等级表, 随

后建立灰色模型对未来异常降水发生趋势进行预测。

**1.1 灰色系统理论** 灰色系统理论于 20 世纪 80 年代由华中理工大学邓聚龙教授提出<sup>[9-10]</sup>。它集合了系统论、信息论、控制论和数学方法, 将其观点延伸到社会、经济、生态等抽象系统。灰色系统理论以“部分信息已知, 部分信息未知”的“小样本”、“贫信息”不确定性系统为研究对象, 主要通过“部分”已知信息的生成、开发, 提取有价值的信息, 实现对系统运行行为、演化规律的正确描述和有效监控, 已经成为一套解决信息不完备系统, 目前有多学科多项目应用该方法进行预测。按照灰色预测的功能和特征将其分为数列预测、灾变预测、拓扑预测和系统预测四类<sup>[11-13]</sup>, 其中, 数列预测是对系统变量的未来行为进行预测, 灾变预测是指通过对灾变日期的研究, 寻找其规律性, 预测以后灾变发生的时间。在此主要通过模型实现对数列预测和灰色灾变的预测。

**1.1.1 灰色预测模型。**灰色系统理论认为一切随机量均是在一定范围内、一定时间段上变化的灰色量及灰色过程。对灰量数据通过一定方式处理后使其成为较有规律的时间序列数据, 再建立模型。灰色系统 GM(1,1) 预测模型是一阶、一个变量的微分方程模型, 适合于对系统行为特征值大小的发展变化进行预测。该模型是将随机数字经过生成后变为有序的数据, 然后建立微分方程, 寻找生成数据的规律, 再将运算结果还原的一种方法<sup>[14-15]</sup>。常用的生成方式有累加生成和累减生成。

**1.1.2 GM(1,1) 模型。**设原始序列为  $X^{(0)} = \{X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), \dots, X^{(0)}(n)\}$ , 累加后生成序列有  $X^{(1)} = \{X^{(1)}(1), X^{(1)}(2), \dots, X^{(1)}(n)\}$ ,  $X^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k X^{(0)}(i)$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ 。对应的 GM(1,1) 模型的微分方程为:  $\frac{dX^{(1)}}{dt} + \alpha X^{(1)} = \mu$  其中,  $\alpha$  为

**作者简介** 林修栋(1983-), 男, 山东烟台人, 助理工程师, 从事气象防灾减灾研究等工作。

**收稿日期** 2015-06-15

发展灰数,  $\alpha$  的可容区为  $(-2, 2)$ ;  $\mu$  为内生控制灰数<sup>[16-17]</sup>。

**1.1.3 最小二乘法求解待估参数向量  $\hat{\alpha}$ 。** 利用公式  $\hat{\alpha} =$

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \mu \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y, B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[X^1(1) + X^1(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[X^1(2) + X^1(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}[X^1(n-1) + X^1(n)] & 1 \end{bmatrix}$$

$$Y = \begin{bmatrix} X^0(2) \\ X^0(3) \\ \vdots \\ X^0(n) \end{bmatrix}$$

求解微分方程, 得模型

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = [X^{(0)}(1) - \frac{\mu}{\alpha}]e^{ak} + \frac{\mu}{\alpha} (k=1, 2, \dots, n)$$

累减还原得:

$$\hat{X}^{(0)}(k+1) = \hat{X}^{(1)}(k+1) - \hat{X}^{(1)}(k) (k=1, 2, \dots, n)$$

$$\hat{X}^{(0)}(1) = \hat{X}^{(1)}(1) = \hat{X}^{(0)}(1)$$

**1.1.4 GM(1,1) 残差模型和模型的检验。** 在原始序列建立的 GM(1,1) 模型检验不合格时, 要对建立的 GM(1,1) 模型进行残差修正, 即以 GM(1,1) 模型的残差数列进行灰色预测。检验分为残差检验和后验差检验。残差检验通过计算相对误差, 以残差大小来判断模型优劣。残差计算公式为  $\Delta(k) = X^{(0)}(k) - \hat{X}^{(0)}(k)$ , 相对误差计算公式为  $\varepsilon(k) = \frac{X^{(0)}(k) - \hat{X}^{(0)}(k)}{X^{(0)}(k)} \times 100\%$ , 则平均残差为  $\bar{\varepsilon} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n |\varepsilon(k)|$ 。模型精度为  $\rho = 1 - \bar{\varepsilon}$ 。其中,  $\rho$  为小误差概率, 当  $\rho \leq 70\%$  时模型不合格,  $\rho \geq 95\%$  时模型优秀。后验差检验通过计算残差数列和原始数列均方差的比值来实现。

后验差比为  $C = S_2/S_1$ , 式中,  $S_1$  为原始数列  $X^{(0)}$  的均方差,  $S_2$  为残差数列  $\Delta(k)$  的均方差,  $C$  值越小, 模型越优秀。模型精度检验结果按文献[18]中检验等级参照表划分等级。

**1.2 标准化降水指数 (SPI)** 不同时间、不同地区降水量变化幅度大, 直接用降水量很难在不同时空尺度上相互比

较, 且降水分布是一种偏态分布, 所以在降水分析中采用  $\Gamma$  分布概率来描述降水量的变化。标准化降水指数 (SPI)<sup>[19]</sup> 通过计算给定时间尺度内降雨量的累积概率, 能够在多个时间尺度上进行计算比较, 考虑了降水服从偏态分布的实际, 假设降水量服从  $\Gamma$  分布, 再经正态标准化求得 SPI 值, 是一种数据分析比较的方法。该研究所涉及的年 SPI 的计算方法与文献[20-21]相同。

**1.3 异常降水评估指标** 选取降水异常强度来进行评估。某站点某时段内的降水异常强度由发生异常时的 SPI 值对应的异常等级来确定, 当  $SPI < -1.96$  时, 异常偏少; 当  $SPI$  为  $-1.96 \sim -1.48$  时, 严重偏少; 当  $SPI$  为  $-1.48 \sim -1.00$  时, 中等偏少; 当  $SPI$  为  $-1.00 \sim -0.50$  时, 轻微偏少; 当  $SPI$  为  $-0.50 \sim 0.50$  时, 正常; 当  $SPI$  为  $0.50 \sim 1.00$  时, 轻微偏多; 当  $SPI$  为  $1.00 \sim 1.48$  时, 中等偏多; 当  $SPI$  为  $1.48 \sim 1.96$  时, 严重偏多; 当  $SPI > 1.96$  时, 异常偏多。

**2 降水异常模型的建立**

**2.1 异常年份的确立** 一般来说, 表征系统行为特征的指标超过了某个阈值 (临界值), 则称为异常<sup>[22-23]</sup>。当降水量小于或大于某一阈值时, 便认为出现降水异常, 模型的预测也就是对降水异常出现的年份进行预测。通过计算, 得到胶东半岛地区 24 个县市区的近 30 年逐年 SPI, 然后建立该地区洪涝年的原始时间序列, 其中 1~30 代表年份, 即 1 为发生在 1981 年, 26 为发生在 2007 年。相应的有青岛、烟台和威海 (其他地区略, 下同) 降水异常年的原始数据:  $\{X_{\text{青岛异常偏少}}^{(0)}\} = \{1, 3, 6, 7, 8, 12, 17, 22, 26\}$ ;  $\{X_{\text{烟台异常偏少}}^{(0)}\} = \{1, 3, 6, 9, 12, 19, 20, 22, 26\}$ ;  $\{X_{\text{威海异常偏少}}^{(0)}\} = \{1, 2, 6, 8, 11, 12, 13, 19, 20\}$ ;  $\{X_{\text{青岛异常偏多}}^{(0)}\} = \{5, 10, 13, 18, 20, 23, 25, 27, 28\}$ ;  $\{X_{\text{烟台异常偏多}}^{(0)}\} = \{5, 10, 13, 18, 20, 23, 25, 27, 28\}$ ;  $\{X_{\text{威海异常偏多}}^{(0)}\} = \{4, 5, 10, 17, 18, 25, 27, 28, 30\}$ 。

**2.2 建立模型** 分别建模并求解, 得到 24 个站的 GM(1,1) 灰色模型, 青岛、烟台和威海的降水异常偏少和偏多灰色模型如表 1 所示。

表 1 胶东半岛异常降水年份灰色模型

站点	异常偏多				异常偏少			
	相应函数	$a$	$u$	预测值年	相应函数	$a$	$u$	预测值年
青岛	$X(k+1) = 13.501818exp(0.269282k) - 12.501818$	-0.269682	3.371521	2016、2027	$X(k+1) = 102.045455exp(0.120379k) - 97.045455$	-0.120379	11.682237	2014、2019、2024、2029
烟台	$X(k+1) = 27.72242exp(0.213006k) - 26.72242$	-0.213006	5.692046	2016、2025	$X(k+1) = 47.448399exp(0.176307k) - 42.448399$	-0.176307	7.483932	2017、2025
威海	$X(k+1) = 22.048309exp(0.208292k) - 21.048309$	-0.208292	4.384196	2013、2021	$X(k+1) = 62.509934exp(0.161767k) - 58.509934$	-0.161767	9.464952	2020、2027

**2.3 模型检验** 以青岛、烟台和威海为例, 从残差检验和后验差比检验结果 (表 2) 可以看到, 模型均通过了残差和后验差比检验, 且达到了优秀, 可以用来对未来干旱年份进行预测。

**2.4 未来 20 年的干旱年份预测** 以青岛、烟台和威海为例, 对 2011~2030 年胶东半岛地区的降水异常年份进行预测, 预

测结果还原至序列。结果显示 (表 3), 就近期看来, 2014 年在青岛和威海、2015 和 2017 年在烟台, 出现降水异常, 表现为偏少; 2013 年在威海、2016 年在青岛和烟台, 降水异常, 表现为偏多。而这与 2014 年胶东半岛地区的干旱和 2013 年的降水偏多有比较好的吻合, 可信度较高。

表 2 胶东半岛异常降水灰色模型检验结果

项目	C	模型等级
青岛异常偏多	0.288 361	优秀
烟台异常偏多	0.305 893	优秀
威海异常偏多	0.211 817	优秀
青岛异常偏少	0.169 518	优秀
烟台异常偏少	0.309 915	优秀
威海异常偏少	0.255 674	优秀

表 3 2011~2030 年胶东半岛地区降水异常年份预测结果

站点	异常偏多年份	异常偏少年份
青岛	2016、2027	2014、2019、2024、2029
烟台	2016、2025	2015、2017、2025
威海	2013、2021	2014、2020、2027

### 3 结论

(1) 通过建立胶东半岛异常降水的灰色预测 GM(1,1) 模型,对模型进行了验证,并对 2011~2030 年的异常降水进行了预测和比对论证。结果表明,2014 年在青岛和威海、2015 和 2017 年在烟台,出现降水异常,表现为偏少;2013 年在威海、2016 年在青岛和烟台,降水异常,表现为偏多。而这与 2014 年胶东半岛地区的干旱和 2013 年的降水偏多有着比较好的吻合,可信度较高。

(2) 灰色 GM(1,1) 模型具有要求数据较少、原理简单、计算量适中、预测精度较高等诸多优点,但 GM(1,1) 适合于短序列的预测,不能用于序列中较长时间的预测,否则会产生较大的误差。另外,原始序列本身规律的好坏也将影响预测模型的预测能力。根据灰色理论建立降水异常的预测模型过程是建立在严格的数学基础上的,结果可为农业抗旱工作提供参考。

### 参考文献

[1] 周文魁. 气候变化对中国粮食生产的影响及应对策略[D]. 南京:南京

农业大学,2012.

- [2] 金文岩. 气候变暖对辽宁农业生产的影响与对策[D]. 兰州:兰州大学,2011.
- [3] 刘德祥,白虎志,宁惠芳,等. 气候变暖对甘肃干旱气象灾害的影响[J]. 冰川冻土,2006(5):707-712.
- [4] 张宏伟,林苗苗,许孟会,等. 气候变暖对河南干旱气象灾害的影响及其对策[J]. 气象与环境科学,2009(S1):239-241.
- [5] 王燕,农学军,李希国,等. 胶东半岛烟台市域降水系列代表性分析[J]. 水文,2002(4):50-52.
- [6] 刘德林,刘贤赵,魏兴华,等. 基于子波变换的烟台市降水变化特征的多时间尺度研究[J]. 中国农村水利水电,2007(11):68-70,73.
- [7] 姜珊,于秀芹,李来民,等. 1980~2010 年烟台市降水变化规律及时空分布特征分析[J]. 现代农业科技,2014(3):263-265.
- [8] 于群,周发秀,汤子东,等. 冬季山东半岛局地性降水气候的形成[J]. 高原气象,2011(3):719-726.
- [9] 邓聚龙. 社会经济灰色系统的理论与方法[J]. 中国社会科学,1984(6):47-60.
- [10] 邓聚龙. 灰色系统综述[J]. 世界科学,1983(7):1-5.
- [11] 胡坤. 灰色预测评价方法与应用研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2004.
- [12] 仇芝. 灰色组合模型研究与应用[D]. 南京:南京航空航天大学,2006.
- [13] 李晓蕾. 基于灰色系统理论的变形分析与预报模型应用研究[D]. 西安:长安大学,2008.
- [14] 张永波. 基于灰色系统理论的预测模型的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2005.
- [15] 邓华灿,陈松林. 基于灰色序列 GM(1,1) 模型的建设用地预测[C]//中国自然资源学会土地资源研究专业委员会. 中国土地资源战略与区域协调发展研究. 中国自然资源学会土地资源研究专业委员会,2006:1.
- [16] 李翠凤. 灰色系统建模理论及应用[D]. 杭州:浙江工商大学,2006.
- [17] 王换鹏. GM(1,1) 模型的优化研究[D]. 秦皇岛:燕山大学,2012.
- [18] 赵君有. 基于灰色理论的中长期电力负荷的预测[D]. 沈阳:沈阳工业大学,2007.
- [19] MCKEE T B, DOESKEN N J, KLEIST J. The relationship of drought frequency and duration to time scales[C]//Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. Boston, MA: American Meteorological Society, 1993:179-183.
- [20] 王冰,余锦华,程志攀,等. 基于 SPI 的烟台地区干旱特征分析[J]. 山东农业大学学报:自然科学版,2015(1):16-22.
- [21] 付奔,金晨曦. 三种干旱指数在 2009-2010 年云南特大干旱中的应用比较研究[J]. 人民珠江,2012(2):4-6.
- [22] 温丽华. 灰色系统理论及其应用[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2003.
- [23] 王沙燧. 灾害系统与灾变动力学研究方法探索[D]. 杭州:浙江大学,2008.
- 东北农业大学学报,1994,25(4):401-404.
- [2] 齐桂元,张荫桥,刘春杰. 长白山野生蓝靛果忍冬的开发利用[J]. 中国野生植物资源,1993(3):27-28.
- [3] 李淑芹,李延水,都昌杰. 蓝靛果中黄酮类成分初探及总含量测定[J]. 东北农业大学学报,1996,27(1):99-101.
- [4] ZHOLOBOVA Z P. Basis for commercial cultivation of blue honeysuckle[J]. Sadovodstvo I Vinogradarstvo, 1990(8):23-25.
- [5] 侯江雁,李彦冰,崔立杰. 蓝靛果保健颗粒的制备和毒理实验[J]. 中医学报,2001,29(3):58.
- [6] 金政,王启伟,金美善,等. 蓝靛果对四氯化碳损伤小鼠肝脏保护作用的组织化学研究[J]. 延边大学医学学报,2001,24(1):18-20.
- [7] 唐启义,冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [8] 张彩玲,朱延明,曹天旭. 蓝莓“美登”组培快繁及瓶外生根技术的研究[J]. 特产研究,2012(1):40-43.

(上接第 160 页)

快速完善,气孔变小,增强抗性和适应外界环境条件的能力,生根率提高。温度、光照、基质水分和空气湿度的平衡是获得较高生根率的保证<sup>[8]</sup>。

(4) 该研究采用经发酵的混合有机基质诱导生根,结果表明不同基质对试管苗的生根效果差异较大,其中以处理 B 移栽效果最好,空气相对湿度控制在 65%~75% 的环境条件下苗木成活率 91.2%,生长健壮,有效叶片数、新增根数较多,并且在第 3 节以下木质化程度高。该基质比无机基质轻,营养丰富,便于携带,有效地降低劳动强度,同时利用该基质可以有效减少换苗床土造成的苗木死亡率。

### 参考文献

[1] 李淑芹,李延水,姜福臣,等. 野生植物——蓝靛果营养成分研究[J].