

文章编号: 1007-7596(2019)06-0047-03

# 基于地统计学的丹东市降水的时空变异性研究

王子岳

(辽宁省水资源管理集团有限责任公司 沈阳 110000)

**摘要:** 强烈人为活动以及自然因素不断,对全球变化乃至大气圈、生态圈的平衡产生深刻影响。文章以时域为 1980-2010 年的丹东内 21 个气象站点数据为基础,运用半方差函数、分形维数、Moran's I 指数等地统计方法,研究了全市降水量时空变异特征。结果表明,研究时域内全市均年降水量介于 601-1025mm,水热资源丰裕且分布时序同期;变异系数表明,年均降水量呈弱变异,其中夏季的变异性小于其他季节;地统计表明,块金效应均 < 25%,分形维数介于 1.745-1.987, Moran's I 介于 0.31-0.90,属于强烈空间自相关,表明降水分布具有明显地带性分异规律;空间自相关分析显示,降水总体分布具有明显的聚集性,这种聚集性可能由结构性因素构成。文章探讨了丹东市降水量在时空间上的分布结构规律,可为气候变化研究提供一定参考。

**关键词:** 地统计学; 降水; 时空; 变异性; 分布规律

**中图分类号:** P426.6

**文献标识码:** B

**DOI:** 10.14122/j.cnki.hskj.2019.06.014

近现代以来全球气象要素以前所未有的速率和广度发生着变化,从而影响着全球系统的平衡与稳定。降水是全球气候变化过程中最敏感的生态因子,是水循环、大气运流机制中不可缺少的要素,其时空变化规律不仅体现着气候变迁,还对生态环境起着潜移默化的作用<sup>[2]</sup>。降水的时空分布不均衡与不确定性增强,导致了不同空间区域内的气候极端性、不稳定性增加,局部地区的气候发生了一定程度的变化,对生态系统、农业发展、生态资源带来显著的影响<sup>[1]</sup>。丹东是我国水资源十分丰富的区域,为作物种植、种子培育、经济作物种植提供了得天独厚的资源。在全球气候变化的背景下,降水的变率方向极具复杂性,研究降水其空变异规律,对深刻认识气象变迁,促进农业生存、经济布局与发展、完善水利基础设施建设,促进水资源、气象资源开发利用,具有重大意义。

## 1 研究区概况与数据处理

丹东市地处东北中朝边境南部、长白山南麓,地理坐标为 123°22'-125°42'E, 39°43'-41°09'N,面

积 1.5222 万 km<sup>2</sup>。境内属长白山山地向丘陵、平原延伸地带,地势北高南低,海拔介于 0-1266m。区域属温带落叶阔叶林、针阔混交林植被带,自然环境良好,森林覆盖率达 61.6%,水源涵养能力较好。由于位于欧亚大陆中纬度东岸,受东南季风影响形成温带季风性湿润气候,年平均气温 6℃-8℃,平均降水量 > 800mm,属于湿润区。全市水系发育良好,流域面积占总面积的 2/5,水资源总量达 82.50 亿 m<sup>3</sup>,占辽宁省的近 1/4。

本研究指标主要是丹东市气象站点的降水量。其源于中国气象数据中心(<https://data.cma.cn/>)提供的逐日降水资料;经平均化处理后采用普通 GS+9.0 软件进行地统计分析。

## 2 研究方法

### 2.1 变异系数

变异系数(Coefficient of Variation)定义为变量的离散程度,在文章中用以计算丹东降水变异性<sup>[3]</sup>。其计算公式如下:

$$CV = SE/Mean \quad (1)$$

[收稿日期] 2019-05-22

[作者简介] 王子岳(1990-),男,辽宁桓仁人,助理工程师,从事工程管理工作。

式中:  $SE$  为标准差,  $Mean$  是均值统计量, 对于变异系数  $CV$  的一般的评估标准分为: 弱变异、中等变异、强变异; 相应地其变异系数划分为  $[0, 0.1]$ ,  $[0.1, 1]$ ,  $[1, \infty]$ 。

## 2.2 半方差函数

降水是具有时空变化特性的生态因子, 这种区域化变量在空间上的分布具有一定的空间结构。半方差函数( Semi - variogram), 又称协方差是基于地质统计学建立起来的空间分析方法, 用以描述区域化变量的分布、变异、相关等特征<sup>[4]</sup>。其定义如下:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

式中:  $\gamma(h)$  的数学意义为一定空间尺度  $h$  上变量在点对位置上测值之差平方的数学期望,  $Z(x_i)$  和  $Z(x_i + h)$  分别为或降水在位置  $x_i$  和  $x_i + h$  处的数值。

## 2.3 Moran's I 指数

Moran's I (墨兰指数) 统计即便是全局空间相关性分析的一种较为常用的定量统计方法, 反映了空间邻近位置上或降水分布的相似性、关联性<sup>[5]</sup>。

其具体形式表述如下:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

式中:  $n$  为空间对象数量;  $w$  为空间权矩阵;  $i$  和  $j$  指代空间位置。墨兰指数  $I$  的值域范围在  $[-1, 1]$ , 可采用标准化分析法将系列  $I$  值予以标准化处理, 由此得到标准型系数  $Z$  对于全局 Moran 指数, 可以用标准化统计量:

$$Z(I) = (I - E(I) / \sqrt{Var(I)}) \quad (4)$$

式中:  $Var(I)$  是 Moran 指数的理论方差,  $E(I) = -I / (n - 1)$  为理论期望。

## 3 丹东降水空间变异性

### 3.1 丹东降水描述性统计特征

1981 - 2012 年丹东 21 个气象站点的年、月数据统计如表 1 所示。

表 1 1981 - 2012 年丹东降水统计特征

统计项	极小值	极大值	均值	标准差	变异系数%	偏度	峰度	$P_{K-S}$	变换
年	601.3	1649.30	166.90	10	10.000	0.079	-0.891	0.894	均 Square error
January	6.85	86.80	5.52	26.633	26.633	-0.386	0.796	0.984	均 Square error
Febuary	9.3	131.80	8.72	17.565	17.565	-0.215	-0.415	0.534	Log 对数
March	10.95	227.10	16.08	24.676	24.676	-0.054	-0.038	0.633	Log 对数
April	31.5	268.10	17.88	21.368	21.368	-0.414	0.756	0.788	均 Square error
May	53.2	299.50	15.78	16.36	16.36	0.423	0.914	0.660	Log 对数
June	65.85	413.30	31.74	17.152	17.152	0.800	-0.139	0.054	Log 对数
July	53.3	264.00	36.99	23.358	23.358	0.273	-1.014	0.455	Log 对数
August	29.1	321.55	31.24	30.129	30.129	0.308	-1.035	0.270	Log 对数
September	18.9	243.40	28.63	31.038	31.038	2.243	3.895	0.000	——
October	13.1	58.45	18.59	41.516	41.516	0.301	-0.857	0.520	Log 对数
November	2.1	75.70	7.55	29.313	29.313	1.145	3.847	0.726	Log 对数
December	1.45	78.30	4.53	23.242	23.242	0.079	-0.891	0.850	均 Square error

由表 1 可知, 31a 间年度总降水量在 601 - 1649mm 之间, 总体均值为 1025mm, 其变异性较小, 仅为 10%, 表明年际变化不大, 呈弱变异。各个季度内, 全市降水量描述性统计较为一致, 如最大值、最小值、标准差、均值等, 表明降水分布的季节性不均衡, 同时季节内部变率较小。从分布形态上看, 除了 1 - 4 月的数据为负偏态, 其余为正偏态; 峰度系数表明 1、4、5、9、11 月的数据为缓峰分布, 其余为尖峰分布, KS - 检验表明, 9 月的降水数据符合正太分布, 余者均不符合。在后续进行空间结构、分形维数、空

间自相关分析的时候, 需要将其进行对数或者均方差转换, 使其符合正态分布形式。从变异系数来看, 2、5、6 月降水变异较小, 介于 16% - 20% 之间; 1、3、4、7、11、12 月变异程度居中, 介于 20% - 30% 之间; 8 - 10 月分降水的变异系数 > 30%, 变异程度为最高。

### 3.2 丹东降水描述性统计特征

半方差函数在描述区域化变量空间相关性的时候通常设定有效滞后距离( Separation distance) 不超过最大点对距离的一半, 滞后单元且不小于最小养

点间距的时候才具有意义,为此,文章基于 GS + 提供的最优距离,并结合气象站点空间分布位置,将有效滞后距离设置为 300km,单元滞后举例为 20m,进行相关的空间分析。变量的空间结构性用块基比  $C0/C0 + C$  来度量,根据数值大小,将其空间结构划分为 3 级水平:一般认为  $C0/(C0 + C) < 25\%$ ,表明变量空间分布存在强烈的内在规律,其在不同的位

置上具有强烈的空间相关性;当  $C0/(C0 + C)$  介于  $25\% - 75\%$  时,说明其空间分布内在规律性一般,可能具有随机变动;当  $C0/(C0 + C) > 75\%$  时,表明变量的空间相关性较弱,其空间分布规律呈随机性,分布趋势复杂。丹东降水量分布半方差结构参数见表 2。

表 2 丹东降水量分布半方差结构参数

统计项	模型	C0	C0 + C	Range	RSS	R <sup>2</sup>	C0/C0 + C
年	Spherical	0.0002	0.0914	14.5	5.582e-04	0.321	0.22
January	Gaussian	0.060	0.388	953.4	2.13e-06	0.95	15.46
Febuary	Gaussian	0.0146	0.1074	740	3.294e-03	0.83	13.59
March	Gaussian	0.0186	0.1712	546	9.43e-07	0.928	10.86
April	Gaussian	0.015	0.2366	851	5.26e-06	0.935	6.34
May	Gaussian	0.0162	0.0847	658	2.664e-04	0.86	19.13
June	Gaussian	0.0117	0.0677	589	0.78e-04	0.883	17.28
July	Spherical	0.0054	0.0452	98.3	2.36e-04	0.75	11.95
August	Exponential	0.0095	0.135	51.9	3.74e-05	0.877	7.04
September	Gaussian	0.0223	0.1316	31.6	1.15e-07	0.96	16.95
October	Exponential	0.0113	0.0764	36.6	6.57e-03	0.324	14.79
November	Gaussian	0.013	0.579	1156	3.102e-03	0.917	2.25
December	Gaussian	0.0164	0.096	656	2.38e-05	0.919	17.08

由表 2 可知,丹东年平均降水量同年均分布一样,存在一定的块金方差,C0 为 0.0002,结构方差较大,块金结构为 0.22%,表明其具有强烈的空间分布地带性规律;其变程 range 达到 14.5km,表明在此范围内各地分布存在一定空间关联,超出此范围,其降水量分布连续性不强;决定系数达到 0.321,残差极小,球状模型拟合度较好。块金效应  $C0/C0 + C$  显示,各月降水量分布空间结构介于 0.22% - 17.08%, $< 25\%$ ,表明均呈强烈空间相关,说明了降

水量分布存在强烈区域性,这种分布特征受自然因素控制。变程大小表明,在 7 - 10 月,变程介于 31.6 - 98.3km 之间,变程较小,这是由于夏半年全市降水量较集中,而局部地区的降水受海拔、坡度、特殊天气的影响导致区域之间降水分布不连续;而在其他月份,变程较大,介于 546 - 1156km,这反映了全市冬半年全市降水普遍偏少,局域差异性小<sup>[6]</sup>。

### 3.3 丹东降水空间自相关特征

丹东降水 Moran's I 指数见表 3。

表 3 丹东降水 Moran's I 指数

Moran's I	年	January	Febuary	March	April	May	June
全局	0.515	0.782	0.525	0.884	0.792	0.776	1.05
标准化	7.38	2.75	2.71	5.36	6.18	2.57	6.84
分形维数	July	August	September	October	November	December	
全局	0.821	0.884	1	0.12	0.773	0.512	
标准化	6.13	6.08	3.92	6.35	6.47	3.92	

如表 3 所示,研究时域内丹东均年和均月、降水量的全局 Moran's I 值均  $> 0$ ,表明其呈正相空间自相关性,而标准化统计 Z 值的绝对值  $> 1.96$ ,说明这种空间自相关达到显著性水平。就各月来看,4 - 10 的、降水量的全局 Moran's I 高于其他月份,表明在

该时间段内全市的降水量的空间自相关性好,表现出较强的空间聚集性。相反,在其他时间段内,其空间聚集性较差。这与前述空间结构、分形维数的结果一致。

( 下转第 79 页)

包线作为动库容调洪计算的采用成果,但与本次串联蓄滞洪区调洪成果相比,起调水位的选择上(如:南引水库——2 分区)与实际情况出入较大。

### 3) 洪水风险图:

根据《黑龙江省洪水风险图编制实施方案(2013-2015 年)》具体要求,2016 年 8 月,龙江水院编制的《胖头泡蓄滞洪区洪水风险图》中,采用了数学模型成果,本次采用多库动库容法有效地检验了胖头泡蓄滞洪区分洪后洪水波运动规律及调洪计算成果。

简言之,经 1998 年实测洪痕水位检验,单库静库容修正法优越于单库静库容法,串联蓄滞洪区多库静库容法优越于单库静库容修正法,串联蓄滞洪区多库动库容法优越于串联蓄滞洪区多库静库容法。数学模型与串联蓄滞洪区多库动库容法可以作为互相的验证成果,并且取长补短,更有利于实际应用。

## 7.2 今后建议

### 1) 设立专用水情自动测报系统:

为了准确实时掌握胖头泡串联蓄滞洪区的库水位变化情况,建议设立专用水尺和自记水位计,具体的水位观测设施位置有老龙口分洪闸(闸上(嫩干又分口左和口右)、闸下)、南引水库泄水闸(闸上、闸

下)、通让铁路桥(桥上、桥下)、林肇公路桥(桥上、桥下)、安民公路桥(桥上、桥下)、老坎子退洪口(口上、口下(松干又分口左和口右))、茂兴湖等。这些水位站的建设应该满足人工观测和自动测报系统要求。

为了估算串联蓄滞洪区内的垫底水量和实时掌握胖头泡串联蓄滞洪区内的降雨量变化情况,建议每一个分区(共 6 个分区)周围设立雨量观测站,这些雨量站应该满足人工观测和自动测报系统要求。

### 2) 扩大通让铁路:

通让铁路的路基普遍较高,现有的 3 座桥梁过流能力较小,故 1998 年洪痕高程桥上、桥下水位差约 1.5m 左右,建议新建桥梁或扩孔现有桥梁后,总过流能力达到  $4000\text{m}^3/\text{s}$  以上为好。

## 参考文献:

- [1]中水东北勘测设计研究有限责任公司. 胖头泡,月亮汇蓄滞洪区运用方式研究报告[R]. 长春:中水东北勘测设计研究有限责任公司 2008.
- [2]黑龙江省水利水电勘测设计研究院. 胖头泡蓄滞洪区防洪工程与案例建设项目初步设计报告[R]. 哈尔滨:黑龙江省水利水电勘测设计研究院 2015.

( 上接第 49 页 )

## 4 结 论

本研究以丹东 21 个气象站点数据为基础,数据覆盖时序为 1980-2010 年,采用了半方差函数、分形维数、Moran's I 指数等地统计方法,研究了全市、降水量时空变异特征;得出结论如下:丹东水资源丰富,但年际、季节、月季变化大。全市均年降水量 601-1025mm。年际降水的变异系数为 10%,属于弱变异,整体上存在一定变化;季节上全市降水量集中于夏半年(3-10 月),冬半年(3-11)降水偏少,11 月降水最少。丹东水资源空间分布不均衡,但其地带性规律明显。地统计表明,块金效应均  $< 25\%$ ,分形维数介于 1.745-1.987, Moran's I 介于 0.31-0.90,属于强烈空间自相关。

## 参考文献:

- [1]刘友存,焦克勤,赵奎,等. 中国天山地区降水对全球气

候变化的响应[J]. 冰川冻土, 2017, 39(04): 748-759.

- [2]钟权加,张立凤,丁瑞强,等. 华南夏季降水的变化特征及其与热带太平洋海温异常的关系[J]. 气候变化研究进展, 2016, 12(01): 28-36.
- [3]马雯思,刘玮玮,赵宁,等. 中国农牧交错带 30 年响应气候变异趋势分析[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(24): 279-284.
- [4]胡庆芳,杨大文,王银堂,等. 利用全局与局部相关函数分析流域降水空间变异性[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2012(06): 778-784.
- [5]张建龙,韩宇平,申瑜. 分形理论在降雨研究中的应用[J]. 东北水利水电, 2007, 25(10): 6-8.
- [6]郑兴文,舒红,许剑辉. 基于 GIS 的东北三省气温降水空间自相关性分析[J]. 地理空间信息, 2014(01): 49-51.