

基于 Z 指数的阳城县旱涝及多尺度特征分析

刘学军 崔艺欣 王晋 张郑珂

山西省阳城县气象局, 山西 阳城 048100

摘要: 将阳城县 1957-2020 年的年降水资料正态标准化处理, 转变其概率密度函数为以 Z 为新变量的标准化正态分布, 建立 Z 指数序列。依据 Z 指数 7 级旱涝分级标准一般理论概率分布要求, 在经正态分布函数查算的 Z 指数标准界限值的基础上, 适当调整实际旱涝概率与理论概率相差较大的 Z 指数上限值, 订正为符合当地实际的 Z 指数标准, 分析阳城县旱涝趋势, 并对 Z 指数进行小波分析, 了解其多时间尺度的变化特征, 为当地防汛抗旱、合理利用水资源指导农业生产和生态文明建设等提供背景信息和数据参考。

关键词: Z 指数; 旱涝; 多时间尺度

DOI: 10.63887/fns.2025.1.3.15

引言

阳城县地处山西省东南部, 独特的地理位置使其气候兼具暖温带大陆性季风气候的鲜明特征。这里四季分明, 夏季受东南季风影响带来充沛降水, 冬季则因大陆冷气团控制而寒冷干燥。年最大降水量达 1202.0mm, 最小降水量仅 334.5mm, 年际间降水变化幅度之大, 堪称“旱涝两重天”。降水的极端性不仅直接威胁着当地农作物的生长周期, 导致粮食减产, 还可能引发山洪、泥石流等次生灾害, 对基础设施建设和居民生命财产安全构成严重威胁。深入剖析阳城县降水变化规律, 能够为农业生产提供精准的气象指导, 助力农民科学调整种植结构; 同时也有助于完善灾害预警机制, 提升区域防灾减灾能力, 对保障当地经济社会可持续发展具有不可估量的现实意义, 是气象服务领域亟待攻克的关键技术课题。

Z 指数是通过对某地某时段历年降水量进行统计得出的一种重要的气象指标, 用它来分析旱涝现象, 不仅考虑了降水服从偏态分布的实际, 还通过降水资料正态标准化处理, 取消了量纲, 抵消了降水量平均值不同的影响, 既可以反应旱涝空间特征, 又能反应旱涝强度特征, 是单站划分旱涝较好的指数, 更适合在实际中使用^[1]。本文采用阳城县 1957-2020 年年降水资料求算 Z 指数序列, 结合本地实际订正 Z 指数标准, 分析阳城县旱涝趋势, 并对 Z 指数进行小波分析, 了

解其多时间尺度的变化特征, 以期当地防汛抗旱、合理利用水资源指导农业生产和生态文明建设等提供背景信息和数据参考。

1 资料与方法

1.1 资料来源

阳城县 1957-2020 年年降水资料来自山西省阳城县气象局历史观测记录。

1.2 Z 指数指标的建立

1.2.1 Z 指数序列的建立

考虑降水服从偏态分布的实际, 将降水资料正态标准化处理, 转变其概率密度函数为以 Z 为新变量的标准化正态分布, 即

$$Z_i = \frac{6}{C_s} \left(\frac{C_s}{2} \varphi_i + 1 \right) - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6} \quad (1)$$

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{n \sigma^3} \quad (2)$$

$$\varphi_i = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (4)$$

(1)-(4)式中: i 为序列号; C_s 为偏态系数; φ_i 为标准变量; X_i 为年降水量; \bar{X} 为年降水均值; n 为降水序列累计序次; σ 为样本标准差。

1.2.2 Z 指数序列正态分布显著性检验

$$|Cs| \leq 1.96 \sqrt{\frac{6(n-2)}{(n+1)(n+3)}} \quad (5)$$

1.2.3 建立 Z 指数旱涝标准

根据 Z 指数 7 级旱涝分级标准一般理论概率分布要求，经正态分布函数查算 Z 指数标准，以此标准统计阳城县旱涝等级实际概率，对此概率与理论概率相差比较大的 Z 指数等级的上限值以不超过 20% 的调整幅度作稍微调整，促使划分后的旱涝年份大体相当^[2]。

1.3 Z 指数变化的多尺度分析

1.3.1 计算 Z 指数小波变换系数

通过 Matlab2017a 软件将 Z 指数序列数据转化为 Matlab 识别的数据格式 (.mat)，利用其信号延伸功能，消除 Z 指数数据序列两端的边界效应；用 Morlet 复小波函数对延伸后的数据序列进行小波变换，计算小波系数并保存。

1.3.2 绘制 Z 指数小波系数实部和小波系数模等值线图

在 excel 表格中计算 Z 指数小波系数实部和小波系数模，利用 Surfer8.0 软件转化为 surfer 格式，分别绘制等值线图并进行修饰，分析 Z 指数时间尺度和能量密度分布特征。

1.3.3 绘制 Z 指数小波系数方差曲线图

在 excel 表格中对小波系数实部进行方差分析，选

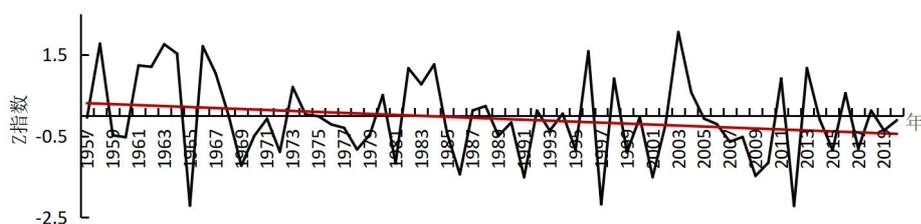


图 1 阳城县 1957-2020 年 Z 指数变化趋势

由图 1 可以看出，随着年代的推移，Z 指数呈逐渐下降趋势，说明阳城县气候有干旱化趋势。

2.2 Z 指数旱涝年划分

2.2.1 建立 Z 指数旱涝等级标准

Z 指数的旱涝分级通常分为 7 级，即特涝、大涝、偏涝、正常、偏旱、大旱和特旱，各级所占比例一般

中分析所得的方差数据，插入折线图表并进行修饰，分析 Z 指数变化的主次周期。利用 Z 指数随时域变化分析其在不同周期上的演变趋势。

2 结果与分析

2.1 形成 Z 指数序列

利用(3)-(4)式，首先将阳城县 1957-2020 年年降水量数据 X_i 进行正态标准化处理，求出相应的标准变量 ϕ_i ，建立 ϕ 数据序列（表 1）。

表 1 阳城县 1957-2020 年年降水量 (X_i) 和标准变量

	(φ i)																
年 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
X	5	8	5	5	7	7	8	8	3	8	7	6	4	5	5	4	
φ	-	1	-	-	1	1	1	1	-	1	1	-	-	-	-	-	
年 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
X	6	6	5	5	5	4	5	6	4	7	7	7	5	4	6	6	
φ	0	-	-	-	-	-	-	0	-	1	0	1	-	-	0	0	
年 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	
X	5	5	4	6	5	6	4	8	3	7	4	5	4	5	8	6	
φ	-	-	-	0	-	0	-	1	-	0	-	-	-	-	-	2	0
年 2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
X	5	5	5	5	4	4	7	3	7	5	4	6	4	6	5	5	
φ	-	-	-	-	-	-	0	-	1	-	-	0	-	0	-	-	-

Z 指数假定降水量服从 P-III 型分布，只有在 C_s 通过正态分布 $\alpha=0.05$ 的显著性检验时，利用 Z 指数进行旱涝分析才有意义。利用(2)式计算所得的偏态系数 $C_s=0.245$ ，小于(5)式右边的计算值 0.573，通过显著性检验。

为此，由(1)式计算求得 Z 指数序列如图 1。

要求特涝和特旱分别为 5%，大涝和大旱分别为 10%，偏涝和偏旱分别为 15%，正常级为 40%^[2]。据此理论概率分布，经正态分布函数查算 Z 指数值^[3]，并依此标准统计阳城县 Z 指数旱涝不同分级的实际概率（表 2）。

表 2 Z 指数理论概率分布标准及阳城县旱涝年实际出现概率

旱涝等级	Z 值	旱涝类型	理论概率%	实际出现概率%
3	$Z \geq 1.645$	特涝	5	6.3
2	$1.042 \leq Z < 1.645$	大涝	10	10.9
1	$0.526 < Z < 1.042$	偏涝	15	10.9
0	$-0.526 \leq Z \leq 0.526$	正常	40	43.8
-1	$-1.042 < Z < -0.526$	偏旱	15	12.5
-2	$-1.645 < Z \leq -1.042$	大旱	10	10.9
-3	$Z \leq -1.645$	特旱	5	4.7

表 2 中，阳城县偏涝年和偏旱年概率分布明显低于同级别理论概率分布，正常年概率明显高于理论概率。为此，在原有 Z 指数标准界限值的基础上，将正常

年 Z 指数的上限值略微下调 4.5%，促使划分后的旱涝年大体相当。订正后的旱涝等级 Z 指数标准如表 3。

表 3 阳城县 Z 指数旱涝等级标准

旱涝等级	Z 值	旱涝类型
3	$Z \geq 1.645$	重涝
2	$1.042 \leq Z < 1.645$	大涝
1	$0.501 < Z < 1.042$	偏涝
0	$-0.501 \leq Z \leq 0.501$	正常
-1	$-1.042 < Z < -0.501$	偏旱
-2	$-1.645 < Z \leq -1.042$	大旱
-3	$Z \leq -1.645$	重旱

2.2.2 Z 指数旱涝年划分

利用 Z 值指标判定阳城县 1957 - 2020 年 Z 指数旱涝等级，结果显示：降水量正常年 25 年（占 39.1%），

涝年 19 年（占 29.7%），重涝和大涝年多在偏冷期；旱年 20 年（占 31.3%），略高于涝年，重旱、大旱年在冷暖期占比持平，偏旱年偏暖期占比更高。旱涝年时间分布表明，阳城县气候趋于干暖化。

表 4 阳城 1957-2020 年旱涝出现年份及出现概率

旱涝类型	出现年份	出现	出现概率
重涝	1958,1963,1966,2003	4	6.3
大涝	1961,1962,1964,1982,1984,1996,2013	7	10.9
偏涝	1967,1973,1980,1983,1998,2004,2011,2016	8	12.5
正常	1957,1959,1968,1971,1974,1975,1976,1977,1979,1985,1987,1988,1989,1990,1992,19	25	39.1
偏旱	1960,1970,1972,1978,1995,1999,2007,2008,2015,2017	10	15.6
大旱	1969,1981,1986,1991,2001,2009,2010	7	10.9
重旱	1965,1997,2012	3	4.7

2.3 Z 指数多尺度分析

2.3.1 Z 指数变化的时间尺度特征

Z 指数 Morlet 复小波变换系数实部等值线图，反映其在不同时间尺度周期变化及时间域分布，可判断未来趋势，正为涝年（暖色），负为旱年（冷色）。Z

指数变化具多时间尺度特征，在 3a - 64a 多个时间尺度上等值线密集，存在振荡，表明旱涝有周期性。3a - 5a、6a - 10a 时间尺度在特定时段振荡强，旱涝交替明显；11a - 19a、22a - 35a 在研究时域内振荡强；38a - 48a、52a - 64a 时间尺度振荡周期内范围缩小、数量增加，分别在 1976 年、1984 年前强度偏强。

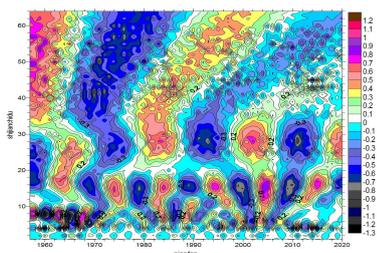


图 2 Z 指数变化的 Morlet 小波变换系数

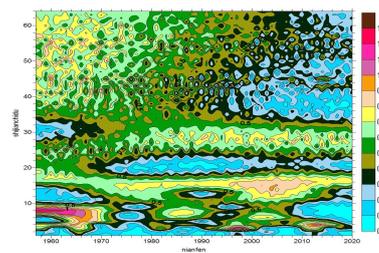


图 3 Z 指数变化的小波系数模

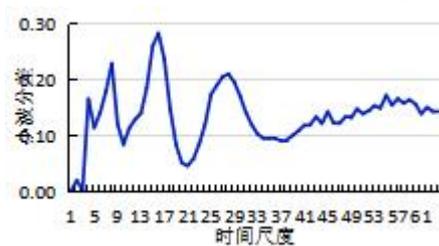
2.3.2 Z 指数变化的能量密度分布

Morlet 小波系数模值反映不同时间尺度变化周期能量密度在时间域的分布，模值越大周期性越强。从图 3 可见，模值随时域变化多呈水平带状分布。11a~19a 时间尺度模值水平分布带最清晰完整，周期变化最明显，1998 - 2012 年能量密度分布最佳；6a~10a 时间尺度模值次之^[4]，大小交替周期贯穿研究时域，1970 年前周期性最强，2010 年后偏弱；22a~35a、52a~64a 等时间尺度模值依次减小，能量密度分布各有特点，

不同时间尺度能量密度局部性特征均显著。

2.3.3 Z 指数变化的主次周期及演变趋势

小波方差可反映 Z 指数时间序列波动能量及主次周期。Z 指数变化的小波方差在 40a 前有 4a、8a、16a 和 28a 四个明显峰值，41a - 64a 内存在 45a 和 55a 两个峰值周期。其中，16a 为第 1 主周期，振荡最强；8a 为第 2 主周期；28a、55a、4a 和 45a 依次为第 3 - 6 主周期。各主周期上，Z 指数旱涝变化呈现不同平均周期，2020 年后，除 28a 主周期年景偏涝外，其余主周期小波系数均趋向负值，年景趋旱或偏旱。



3 结论与讨论

(1) Z 指数随着年代推移呈下降趋势，阳城县气候有干旱化趋势。

(2) 1957-2020 年阳城县涝年 19a，其中 63.2% 年出现在 1993 年以前的气候偏冷期；旱年 20a，占比略高于涝年，有 55% 年出现在 1994 年之后的气候偏暖期。旱涝年分布映射了阳城县气候趋于干暖化。

(3) Z 指数的变化过程存在 3a~5a、6a~10a、11a~19a、22a~35a、38a~48a 和 52a~64a 等多时间

尺度特征。不同时间尺度上分别存在 2.8a、5.1a、10.7a、16a、25.6a 和 32a 等旱涝变化的平均周期，各周期变化所对应的能量密度在时间域中基本呈水平带状分布，且局部性特征显著。

(4) 在 16a、8a、28a、55a、4a 和 45a 等时间尺度上依次出现 Z 指数变化的第 1~第 6 主周期。2020 年之后，除 28a 周期上 Z 指数小波系数处于正值区，年景偏涝外，其余周期上 Z 指数小波系数趋向或处于负值区，年景偏旱^[5]。

参考文献

- [1] 鞠笑生, 杨贤为, 陈丽娟, 等. 我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究[J]. 应用气象学报, 1997, 8(1): 26—33.
- [2] 方茸, 周后福, 屈雅. 基于江淮分水岭地区的 Z 指数订正[J]. 气象, 2010, 36(10): 110—113.
- [3] 马开玉, 丁裕国, 屠其璞. 气候统计原理与方法[M]. 北京: 气象出版社, 1993: 30—33.
- [4] 邱庆栋, 章竹青, 彭梦霜等. 基于 Morlet 小波的长沙降水周期分析[J]. 低碳世界, 2016, (11): 97-98.
- [5] 罗伯良, 张超. 湖南伏旱期旱涝变化特征及其与前期环流之关联[J]. 气象科技, 2009, 37(01): 19-24.