

# 1965—2005年河北省降水量变化的小波分析

李春强<sup>1</sup>, 杜毅光<sup>1,2</sup>, 李保国<sup>2</sup>

(1. 河北省气象与生态环境重点实验室 河北省气象科学研究所, 石家庄 050021;

2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

**摘 要:**降水变化对农业生产与经济社会发展具有重要意义。根据河北省85个常规地面气象站降水资料,利用小波变换Morlet方法,分析了河北省1965-2005年不同时间尺度下降水序列的主要周期变化过程及其空间变化特征。结果表明:近41年河北省年降水量主要存在3个尺度的变化周期,分别是18a、8a和4a,其中,18a尺度存在于近41a,8a尺度主要集中在20世纪90年代,4a尺度集中在70年代。在时间上,18a尺度经历了5个枯丰交替变化;8a尺度上则有10个丰枯交替。在空间上,不同地区降水的多时间尺度特征具有明显的差异,河北省北部和中东部地区年降水量分别以12~18a大尺度及8~12a中尺度周期变化为主,降水相对稳定;西部地区则主要以3-8a小尺度周期变化为主,降水变率较大。

**关 键 词:**降水变化;Morlet;小波分析;河北省

## 1 引言

在全球变暖的大背景下,气温变化必将引起全球水分循环变化,从而不仅影响到水资源重新分配与自然生态环境的变化,而且还将影响工农业生产和社会经济的可持续发展。因此,研究区域的降水变化规律,对了解气候变化特征、合理利用自然降水、防御旱涝等具有重要的现实意义。

有关降水变化的研究主要集中于降水的时空变化特征。国外学者一方面研究自然降水如日降水量、降水日数、日极端降水等的变化趋势<sup>[1]</sup>及不同时间尺度下降水的空间变化分布规律<sup>[2]</sup>。另一方面,利用统计方法如小波分析,研究降水的时间变化周期<sup>[3-5]</sup>。Souza Echer等<sup>[6]</sup>研究了巴西Pelotas百年(1894—1995年)年降水量序列变化趋势,同时使用小波变换、交叉谱方法分析了该地年降水量与ENSO、准两年振荡和太阳黑子数的变化关系。De Jongh等<sup>[7]</sup>应用比利时Uccle站点105年(1898—2002年)的降水资料,采用小波分析方法,分别对该地区年、月和季节降水变化进行了研究。Narisma等<sup>[8]</sup>应用小波分析方法分析了全球20世纪降水的区域突变。以上研究主要是采用长时间(百年)、单站资料或在较大区域选择有限的站点进行分析,以

揭示降水变化规律特征。国内学者在分析降水变化趋势的基础上,采用小波变换方法,分析了地区或区域不同时间尺度的降水变化规律,包括东北、华北、西南、西北和黄河中下游地区等,天津、西安等城市及降水变化对水文和水资源的影响等<sup>[9-22]</sup>。如郝志新等<sup>[20]</sup>分析了黄河中下游地区近200多年的降水变化周期;邓自旺等<sup>[22]</sup>分析了西安市近50年(1939—1988年)月平均气温距平和月降水量距平变化的多层次时间尺度结构。由于研究区域较大,因此一般都采用有限代表站点资料进行分析。部分研究还分析了降水多尺度周期变化与大尺度环流如ENSO之间的关系。上述研究,从宏观尺度上与地域上,得出了降水的变化周期。结果表明:不同地区,同一地区不同时间尺度的降水资料具有不同的时间变化周期。

目前,有关河北省全省范围降水的多尺度演变规律研究还相对较少。李东发等<sup>[23]</sup>以栾城站为例,分析了太行山山前平原降水变化特征;许月卿等<sup>[24]</sup>采用8个站的资料,对河北省平原地区降水周期变化进行了分析,其共同特点是所用站点较少。由于降水的空间离散型特点,因此有必要利用多站点资料进行河北全省范围多站降水变化特征的研究。为此,本文利用河北省85个地面气象站降水资料,

收稿日期:2009-07; 修订日期:2010-01.

基金项目:河北省应用基础研究计划重点基础研究项目(08966711D);河北省科技支撑计划项目(09276903D)。

作者简介:李春强(1964-),男,汉族,山西芮城人,理学硕士,高级工程师,主要从事农业气象与气候变化研究。

E-mail: chunql@sohu.com

采用Morlet小波变换方法,分析河北省1965—2005年的降水变化规律,以及省内不同地区的空间降水尺度周期变化特点,以揭示河北省降水的时空多尺度变化特征,为降水预测和水资源利用提供依据。

## 2 研究区概况及资料与方法

### 2.1 研究区概况

河北省地处华北地区,地形多样,属于温带半湿润半干旱大陆性季风气候,大部分地区四季分明,干湿期明显。全省年平均气温在 $1.7 \sim 14.2^{\circ}\text{C}$ 之间,各地区气温差异较大。全省年平均降水量 $350 \sim 770\text{mm}$ ,各地区降水量分布不均,且年际变化大,降水主要集中在夏季(6—8月)。受全球气候变化影响,气温与降水等气象要素也发生了变化。其中,近几十年(建站—2000年)的年平均气温、年平均最高气温、年平均最低气温均出现了普遍上升的趋势,但全省不同区域、不同季节增温幅度不同<sup>[25]</sup>;河北省1965—2005年年平均降水量为 $514\text{mm}$ ,近41年整体变化幅度不大,属正常波动并略有下降,但未通过显著性检验<sup>[26]</sup>。

### 2.2 资料与方法

本文使用的气象资料来自河北省气候中心,选择空间分布相对均匀的85个地面气象站月降水量资料。对于个别缺测时段,应用回归分析方法进行订正。以85个气象站点同一年降水量的平均值代表当年河北省年降水量。小波分析方法具有多种模式,本文采用Morlet变换分析,其具体方法见文献<sup>[27]</sup>。计算过程在Matlab软件平台下,通过编写数据处理程序,计算小波系数,并绘制实部值、模部平方值图像以及小波方差图像。

## 3 结果与分析

### 3.1 年降水序列多时间尺度分析

1965—2005年,河北省年降水量在整个时间域上具有 $15 \sim 25\text{a}$ 尺度的年代际变化周期,并且周期振荡十分显著(图1a)。在年际变化尺度上还存在 $6 \sim 12\text{a}$ 左右的短周期,该尺度周期在20世纪70年代末以后较为明显。此外,在1990年以前还具有 $3 \sim 5\text{a}$ 小尺度的短周期振荡,1990年后 $3 \sim 5\text{a}$ 短周期不明显。因此,河北省近41年降水量变化并没有一个固定周期,而是大、中、小多种周期尺度相互嵌

套。图1a为年降水量距平序列Morlet小波变换实部等值线图,显示了年降水量在不同时间尺度下周期变化的情况。其中红色部分表示降水较多时期,出现在70年代后期和90年代前期;蓝色部分表示降水较少时期,出现在80年代和21世纪初。许月卿等<sup>[24]</sup>研究认为河北省平原地区年降水在 $8 \sim 12\text{a}$ 和 $4 \sim 6\text{a}$ 尺度上周期振荡明显。邵晓梅等<sup>[10]</sup>通过研究发现黄河流域年降水和各季节降水均存在 $8 \sim 12\text{a}$ 左右时间尺度的多少交替,其次 $4 \sim 6\text{a}$ 的时间尺度的周期特征也较明显。本研究结果河北省年降水 $6 \sim 12\text{a}$ 、 $3 \sim 5\text{a}$ 中小尺度周期变化与其基本一致。李发东<sup>[23]</sup>等认为太行山山前平原地区降水具有 $5 \sim 7\text{a}$ 的变化周期,与本文略有差异,可能与选择的资料年代(1961—2001年)和站点数量多少有关。

根据小波变换模部平方等值线图(图1b)分析,年降水量在小波变化域中其波动能量曲面上共有3个能量最聚集的中心,它们代表年降水量波动能量变化的特性。这3个中心分别是:①中心尺度为 $18\text{a}$ ,即在整个时域上具有 $18\text{a}$ 准周期,其能量波动贯穿整个时域,在80年代—90年代表现最为强烈。②尺度范围在 $6 \sim 12\text{a}$ ,中心尺度为 $8\text{a}$ ,波动能量主要影响的时域是在90年代。③中心尺度在 $4\text{a}$ 左右,波动能量主要影响的时域在70年代。该结果反映了河北省年降水量变化周期的局部化特征明显,即在不同时域,变化周期不完全相同。图1b同时也反映出明显的年际和年代际尺度特征,杨辉等<sup>[13]</sup>研究结果表明:华北地区降水主要年际变化周期是 $2 \sim 3\text{a}$ , $5 \sim 6\text{a}$ ,在50年代中—70年代初以及80

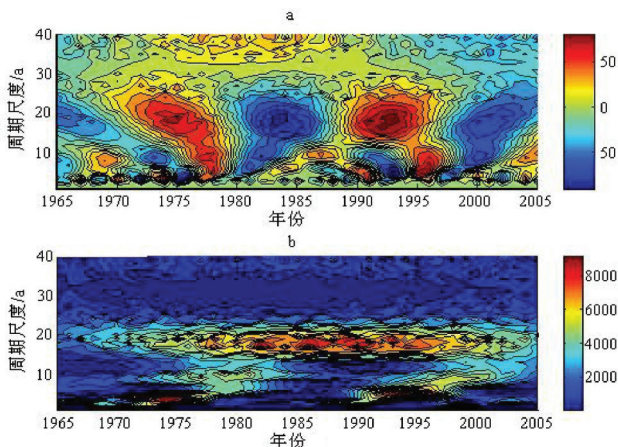


图1 河北省年降水量距平序列小波系数实部值图像(a)和模部平方值图像(b)

Fig.1 The real part (a) and square of the modulus (b) of the wavelet transform coefficients of annual rainfall anomalous series in Hebei province

年代—90 年代初明显;主要年代际尺度周期是 15a,在 70 年代后明显,该结论与本文上述结果有所差异,可能与研究的起止时间、空间尺度以及所选择站点不同所有关。

图 2 为河北省年降水量距平序列小波方差图,从中可知年降水量序列变化的主要周期为 18a、8a 和 4a。图中曲线 3 个极大值点的横坐标分别对应 18a、8a 和 4a 尺度,说明这 3 个尺度的准周期在近 41 年降水量序列中起主要作用,其中 18a 尺度周期最为显著。这一结果与上述分析一致。

3.2 年降水变化过程分析

根据对河北省近 41 年来年降水量距平序列的 Morlet 小波分析,进一步分析实部值过程曲线判断降水的丰枯变化,正相位表示降水量偏丰,负相位则表示降水量偏枯。选择 18a 和 8a 两个尺度进行分析,因为这两个时间尺度的周期振荡十分显著,它们分别代表了年降水量的年代际变化和年际变化情况,而更小尺度的降水过程则反映了大尺度背景下的详细变化过程<sup>[9]</sup>。更小尺度降水过程由于受到多种环境因素的影响,丰枯变化频繁,在此不做分析。图 3 中实线为 18a 尺度,主要经历了 5 个丰枯交替。年降水量偏枯的时间段为:1965—1970、1979—1988 和 1997—2005 年。降水量偏丰的时间段为 1970—1979 和 1988—1997 年。1970 和 1988 年是由“枯”转“丰”的转折点,1979 和 1997 年是由“丰”转“枯”的转折点。

图 3 中虚线为 8a 尺度,主要经历了 10 个丰枯交替。年降水量偏枯的时间段为:1965—1967、1971—1975、1979—1983、1989—1993、1998—2002 年。偏丰的时间段为:1967—1971、1975—1979、1983—1989、1993—1998、2002—2005 年。1967、1975、1983、1993 和 2002 年是由“枯”转“丰”的转折点,1971、1979、1989、和 1998 年是由“丰”转“枯”的转折点。

年降水序列在不同时间尺度下“丰”、“枯”变化过程不完全相同。根据周期振荡最为显著的 18a 主尺度分析,2006、2007 年河北省正处于枯水期,其降水量接近多年平均水平,预计 2007 年以后河北省将逐渐进入一个丰水期,降水量有所增加。

3.3 年降水多尺度空间变化分析

对 85 个站点降水量进行小波分析,以了解河北省年降水多时间尺度的空间变化特征。结果发现:各站点起主导作用的周期可分为 4 类:小尺度

(3 ~ 8a)、中尺度(8 ~ 12a)、大尺度(12 ~ 18a)和更大尺度(18a 以上)。为了能表现出多尺度空间差异,利用 GIS 技术将各个站点最显著周期尺度进行空间插值,得到降水多尺度空间分布图(图 4)。

整体上,河北省年降水变化的 2 个大尺度(包括更大尺度)中心分别是:①北部高原与燕山丘陵地区,代表站为丰宁(25a)、赤城(19a);②平原地区中部,代表站为饶阳(21a)、任丘(18a)。这两个中心均位于 116°E 附近。而河北省最南端则有一个小尺度中心,代表站为曲周(3a)、大名(3a)。其他地区为:河北省北部的燕山丘陵地区年降水以 12 ~ 18a 大尺度周期为主,北部高原局部地区还存在 18a 以上更大尺度周期变化,说明这一区域降水变化以年代际周期为主,属于降水相对比较稳定地区。河北省中部平原地区和东部沿海地区年降水以 8 ~ 12a 中尺度周期变化最为明显。中部地区存在一个大尺度中心,年降水以 12 ~ 18a 周期为主。

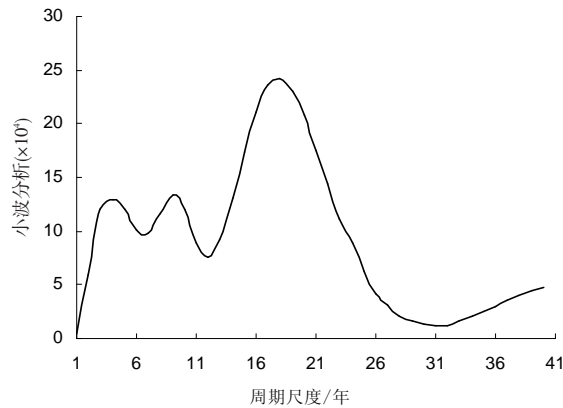


图 2 河北省年降水量距平序列小波方差图  
Fig.2 Wavelet variance of annual rainfall anomalous series in Hebei province

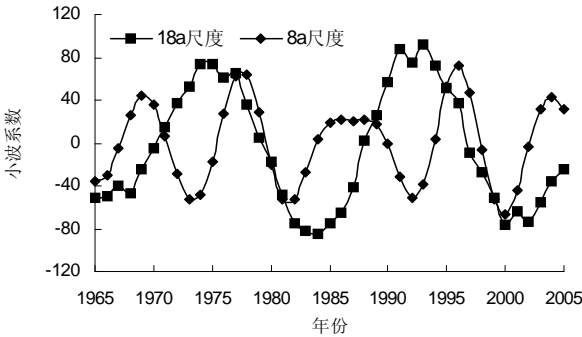


图 3 河北省年降水量距平序列不同尺度小波系数实部变化过程  
Fig.3 The real part changes of wavelet transform coefficient of annual rainfall anomalous series at different time scales in Hebei province



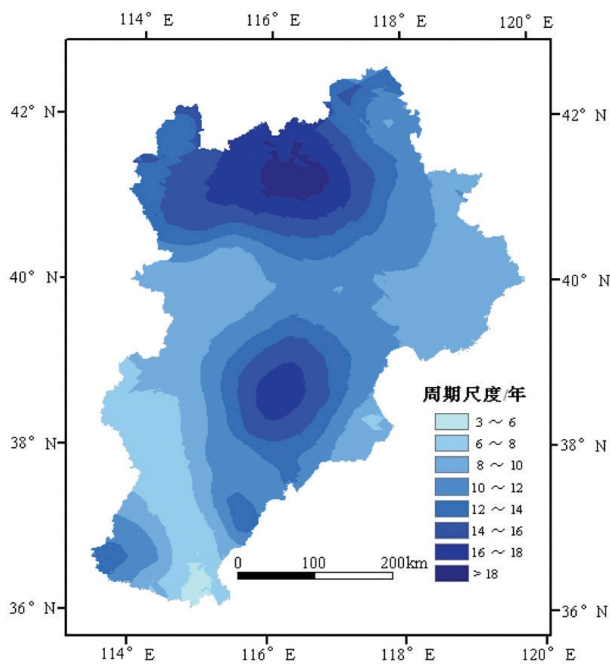


图4 河北省年降水多尺度空间分布图

Fig.4 The spatial distribution of annual rainfall at multi-time scales in Hebei province

据研究:河北省地处华北区域,降水主要受东亚季风影响<sup>[28]</sup>,季风强弱与出现时间迟早的变化均影响着降水的多少。总的来看,河北省中东部地区降水以年代际周期为主,降水也较为稳定。在河北省西部的太行山山前平原有一带状区域,该地区年降水以3~8a小尺度周期变化为主,这一地区降水以年际周期为主,丰枯变化频繁,降水变率较大。这可能是由于该地区处于太行山迎风坡,降水量受地形显著影响造成的,即河北省的多样化地形对降水的空间分布也有明显作用。降水极易受到局部环境的影响,河北省南北跨度大,地形复杂多样,降水时空分布差异十分明显,这将导致降水多时间尺度的空间差异。牛存稳等<sup>[14]</sup>通过对华北地区降水的分区研究也证明,在不同地域降水的多时间尺度特征具有明显的差异。事实上,降水时间尺度变化特征与资料长短、地域站点分布选择有关,资料时间长短不一,站点分布稀疏不同,其变化周期不同。

## 4 结论

(1) 近41年来河北省年降水量主要存在3个尺度的周期,分别是18a、8a和4a。其中18a尺度年代际周期变化最为显著,且贯穿整个时域;其次是8a

尺度,该尺度周期在70年代末以后较为明显;在90年代以前4a尺度的年际变化周期明显。因此,河北省年降水量变化并不存在真正意义上的周期,而是时而以一种周期变化,时而又以另外一种周期变化,大、中、小多种周期尺度相互嵌套,具有很强的时频局部特征。

(2) 降水序列在不同时间尺度下“丰”、“枯”转折时间点不完全相同。在18a尺度下,年降水经历了少—多—少—多—少5个枯丰交替。在8a尺度下,经历了10个枯丰交替。根据小波分析实部值变化过程曲线分析,目前河北省正处于枯水期,降水量接近多年平均水平。

(3) 降水序列不仅在时间上具有多尺度特征,并且这种多尺度特征在空间上具有明显差异。河北省北部高原和中东部平原年降水主要以大尺度(12~18a)和中尺度(8~12a)周期变化为主,降水相对稳定。西部太行山区则表现出明显的小尺度(3~8a)周期变化,降水变率较大。

## 参考文献

- [1] Moberg A, Jones P D. Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in central and western Europe, 1901-99. *International Journal of Climatology*, 2005, 25(9): 1149-1171.
- [2] Baigorria G A, Jones J W, Obrien J J. Understanding rainfall spatial variability in southeast USA at different time-scales. *International Journal of Climatology*, 2007, 27(6): 749-760.
- [3] Nolin A W, Hall-Mckim E A. Frequency modes of monsoon precipitation in Arizona and New Mexico. *Monthly Weather Review*, 2006, 134(12): 3774-3781.
- [4] Partal T, Özgür K. Wavelet and neuro-fuzzy conjunction model for precipitation forecasting. *Journal of Hydrology*, 2007, 342(1-2): 199-212.
- [5] Gan T Y, Gobena A K, Wang Q. Precipitation of south-western Canada: Wavelet, scaling, multifractal analysis, and teleconnection to climate anomalies. *Journal of Geophysical Research*, 2007, 112, D10110, doi:10.1029/2006J D007157.
- [6] Souza Echer M P, Echer E, Nordemann D J, et al. Wavelet analysis of a centennial (1895-1994) southern Brazil rainfall series (Pelotas, 31°46'19"S, 52°20'33"W). *Climatic Change*, 2008, 87: 489-497.
- [7] De Jongh I L M, Verhoest N E C, De Troch F P. Analysis of a 105-year time series of precipitation observed at Uccle, Belgium. *International Journal of Climatology*,

- 2006, 26(14): 2023-2039.
- [8] Narisma G T, Foley J A, Licker R, et al. Abrupt changes in rainfall during the twentieth century. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34(6), L06710, doi: 10.1029/2006GL028628
- [9] 张军涛, 李哲, 郑度. 温度与降水变化的小波分析及其环境效应解释以东北农牧交错区为例. *地理研究*, 2002, 21(1): 54-60.
- [10] 邵晓梅, 许月卿, 严昌荣. 黄河流域降水序列变化的小波分析. *北京大学学报: 自然科学版*, 2006, 42(4): 503-509.
- [11] 张利平, 夏军, 胡志芳. 华北地区降水多时间尺度演变特征. *气候变化研究进展*, 2008, 4(3): 140-144.
- [12] 戴新刚, 汪洋, 丑纪范. 华北汛期降水多尺度特征与夏季风年代际衰变. *科学通报*, 2003, 48(23): 2483-2487.
- [13] 杨辉, 宋正山. 华北地区水资源多时间尺度分析. *高原气象*, 1999, 18(4): 496-508.
- [14] 牛存稳, 张利平, 夏军. 华北地区降水量的小波分析. *干旱区地理*, 2004, 27(1): 66-70.
- [15] 刘晓冉, 李国平, 范广洲, 等. 我国西南地区 1960-2000 年降水资源的时空变化特征. *自然资源学报*, 2007, 22(5): 783-792.
- [16] 胡利平, 姚延锋, 裴古娥, 等. 天水地区近 50 年气温和降水变化特征. *地理科学进展*, 2009, 28(4): 651-656.
- [17] 张利平, 陈小凤, 赵志鹏, 等. 气候变化对水文水资源影响的研究进展. *地理科学进展*, 2008, 27(3): 60-67.
- [18] 尤卫红, 吴湘云, 李德俊. 夏季风作用下的纵向岭谷区夏季降水量年际变化的时空特征和规律. *地理科学进展*, 2007, 26(5): 23-31.
- [19] 程建刚, 解明恩. 近 50 年云南区域气候变化特征分析. *地理科学进展*, 2008, 27(5): 19-26.
- [20] 郝志新, 郑景云, 葛全胜. 黄河中下游地区降水变化的周期分析. *地理学报*, 2007, 62(5): 537-544.
- [21] 俞烜, 杨贵羽, 周祖昊, 等. 天津夏季降水演变规律及其城市效应. *地理科学进展*, 2008, 27(5): 43-48.
- [22] 邓自旺, 林振山, 周晓兰. 西安市近 50 年来气候变化多时间尺度分析. *高原气象*, 1997, 16(1): 81-93.
- [23] 李发东, 宋献方, 张秋英, 等. 太行山山前平原降水量特征及其分布的小波分析: 以栾城为例. *应用气象学报*, 2005, 16(3): 367-373.
- [24] 许月卿, 李双成, 蔡运龙. 基于小波分析的河北平原降水变化规律研究. *中国科学: D 辑*, 2004, 34(12): 1176-1183.
- [25] 刘学锋, 阮新, 李元华. 河北省冷暖变化气候特征分析. *气象科学*, 2005, 25(6): 638-644.
- [26] 李春强, 杜毅光, 李保国, 等. 河北省近四十年 (1965-2005) 气温和降水变化特征分析. *干旱区资源与环境*, 2009, 23(7): 1-7.
- [27] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1998, 79: 61-78.
- [28] 朱锦红, 王绍武, 慕巧珍. 华北夏季降水 80 年振荡及其与东亚夏季风的关系. *自然科学进展*, 2003, 13(11): 1205-1209.

## A Wavelet Analysis on Annual Rainfall Variation in Hebei Province during 1965–2005

LI Chunqiang<sup>1</sup>, DU Yiguang<sup>1,2</sup>, LI Baoguo<sup>2</sup>

(1. Hebei Provincial Key Lab for Meteorology and Eco-environment, Meteorological Institute of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China; 2. College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

**Abstract:** Rainfall temporal-spatial variations are very important for the development of agriculture production and social-economy. Based on the precipitation data of 85 surface weather stations in Hebei province from 1965 to 2005, the annual rainfall change characteristics under different time scales were analyzed by the Morlet wavelet analysis method. The results showed that three periodic oscillations (18-year, 8-year and 4-year) existed in the annual rainfall variation, and 18-year scale mainly in the 41-year period, but 8-year in the 1990s and 4-year in the 1970s. Also, there were 5 dry-wet processes for the 18-year scale and 10 dry-wet processes for the 8-year scale. A clear distinction for multi-time scales characteristics of annual rainfall occurred in different spatial areas. The large-scale of 12-18 years and meso-scale of 8-12 years were revealed in the northern and central-eastern parts respectively, while a small-scale of 3-8 year period was found in the western part of Hebei province.

**Key words:** rainfall variation; morlet; wavelet analysis; Hebei province

本文引用格式:

李春强, 杜毅光, 李保国. 1965—2005 年河北省降水量变化的小波分析. *地理科学进展*, 2010, 29(11): 1340-1344.