

近40年青海东部春季降水变化特征及小波分析

王希娟^{1,2}, 唐红玉^{1,2}, 张景华²

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020; 2. 青海省气象台, 青海 西宁 810001)

摘要: 应用线性趋势分析和小波变换分析方法对青海东部地区12个气象台站1961~2004年春季降水的变化特征及时~频特征进行了分析。结果表明:近44 a来,青海东部地区春季降水量波动明显,年代际变化表现出20世纪60年代偏多,70年代、80年代偏少,进入90年代以来偏多的趋势;春季降水总体呈弱的增加趋势,分阶段分析,只在1981~2004年时段趋势呈弱的减少,其余时段均呈增加趋势;在10 a及以上相对较大的时间尺度上,春季降水干、湿交替的特征非常明显,经历了6个干、湿交替的阶段,其突变点为1964年、1975年、1983年、1993年、2001年,其10~12 a和16 a左右的周期较为明显;而对于10 a以下相对较小的时间尺度,春季降水变化比较复杂,增加了更多的相对干、湿交替阶段和突变点,其6~8 a的周期突出;当周期振荡表现为较强的负位相时,均会发生强的干旱;从最近几年青海东部地区的春季降水变化来看,其较大尺度和较小尺度的变化均处于较强的偏多期。

关键词: 青海东部;春季降水;变化特征;小波分析

中图分类号: S161.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)03-0021-05

气候变化与人类活动息息相关,一地的气候条件既决定了该地的农牧业生产方式,也决定了与之相适应的土壤、植被分布类型。因此,气象学、地理学、农学、生态学等诸多学科的研究者对气候的变化特征,以及变化趋势的研究均给予了高度重视。研究者从不同时间尺度或地域尺度作过大量而有意义的研究工作。青藏高原是全球变化中对气候变化最为敏感的地区之一,表现为气温变化振幅大,气候变化具有一定的超前性^[1~2]。近年来,基于青藏高原地域的特殊性和青藏高原气候变化对毗邻地区影响较大以及对全球变化的指示作用,关于青藏高原气候变化的研究已在多种时间尺度上取得了丰硕成果,尤其是近40 a来青藏高原气候变化特征的众多研究成果较为突出^[2~12]。高荣等^[8]认为,青海降水以3~5 a的周期变化;王宝鉴等^[9]用小波分析等诊断方法,对西北地区近40 a来6~9月降水异常特征和旱涝变化进行了分析,认为高原地区旱涝变化位相基本一致,进入90年代,变干是西北各区平均气候特征的普遍性;姚莉等^[10]分析近30 a来青藏高原的降水,认为青藏高原年降水量的变化趋势是由偏少到偏多;朱西德等^[11]通过对青藏高原年降水量的气候变化及其异常类型的研究,认为高原年降水量的时间变化在缓慢减少,并经历了减少、增多和再次减少的三个变化阶段;施雅风等^[12]利用大量的数据资料分析后认为,中国西部气候从暖干向暖湿

转型。然而,气候的变化具有一定的地方区域性,特别是降水变化因时间、因地区的变化尤为明显。

位于青藏高原的青海省东部地区区域面积约3.6万 km²,人口达518万(截止2000年),分别占青海省总面积的5%和总人口的73%。是青海春小麦重要的生产区,在青海农业生产中占据重要位置。在地理位置上又是蒙新荒漠、青藏高原、东部黄土高原的交汇过渡带,每年春季进入春小麦播种时期,往往受到春季干旱的危害,春季也正是我国北方最为干旱时期,而春季降水多少将直接和间接影响着牧草营养生长,春小麦种植区土壤保墒等功能等。为此,研究区域春季降水量变化特征以及变化趋势对农业生产影响极其重要。在本文中我们首先利用实现观测资料分析了青海东部春季降水的气候变化特征;再采用小波分析法,研究了青海东部春季降水的时~频特征,以为当地的春耕生产工作中提供更好的气象服务依据。

1 资料和方法

1.1 资料说明

考虑到台站迁移和资料的稳定性,本文选取了青海省东部地区的西宁、湟中、湟源、化隆、循化、乐都、民和、门源、共和、贵德、同仁、尖扎12个气象台站1961~2004年44 a春季3、4、5月3个月的降水观测资料。春季降水量为3~5月降水量合计,东部

收稿日期:2005-10-08

基金项目:国家自然科学基金项目(40465002);中国气象局气候变化专项(CCSF2005-2-QH22);兰州干旱气象科学研究基金项目

中国知网 (CNKI) www.cnki.net

作者简介:王希娟(1963-),女,青海湟中人,工程师,主要从事高原天气、气候业务及管理工作。E-mail:wxjjuan@sohu.com

地区春季降水量为上述 12 个台站春季降水量的平均。

1.2 方法简介

小波分析是在上世纪 80 年代发展起来的一种新型数据处理方法,广泛应用于信号分析、地震勘探、湍流、雷达监控、非线性科学等领域。小波分析也称为多分辨分析,是傅里叶分析发展史上的重大突破。它的思想来源于伸缩和平移方法,其核心内容是小波变换^[13~14]。由于小波分析对调和分析、快速算法、偏微分方程数值解及分形都有重要影响,因此,在气象领域很快得到广泛应用,将其应用于气象和气候序列变化的时频结构分析中,已取得了不少引人注目的研究成果^[15~19]。在气候诊断中,广泛使用的傅里叶变换可以显示出气候序列不同尺度的相对贡献,而小波变换不仅可以给出气候序列的尺度,还可以显示出变化的时间位置。为此,本文尝试将小波变换分析用于研究青海东部春季降水变化特征。

小波分析的思想是将一般的函数(信号)表示为规范正交小波基(其中每个基函数对应各自不同的频率)的线性叠加,从而将对原来的函数(在时域和频域)的研究转化为对这个叠加的权系数,即小波变换的研究。小波分析的权系数是频率和时间的二元函数。

若函数 $\Psi(t)$ 为满足下列条件的任意函数

$$\int_R \Psi(t)dt = 0$$
$$\int_R \frac{|\Psi(\omega)|^2}{|\omega|}d\omega < \infty \quad (1)$$

其中 $\Psi(\omega)$ 是 $\Psi(t)$ 的频谱。令

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2)$$

为连续小波, Ψ 叫基本小波或母小波,它是双窗函数,一个是时间窗,一个是频率谱。 $\Psi_{a,b}(t)$ 的振荡随 $\frac{1}{|a|}$ 增大而增大。因此, a 是频率参数, b 是时间参数,表示波动在时间上的平移。这样,函数 $f(t)$ 小波变换的连续形式为:

$$\omega_f(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_R f(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right)dt \quad (3)$$

由(3)式看到,小波变换函数是通过母小波的伸缩($t \rightarrow t/a$)和平移($t \rightarrow t-b$)得到的。

函数 $f(t)$ 小波变换的离散形式为:

$$\omega_f(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Delta t \sum_{i=1}^n f(i\Delta t) \Psi\left(\frac{i\Delta t-b}{a}\right) \quad (4)$$

其中, Δt 为取样间隔; n 为样本量。离散化的小波

变换构成标准正交系,从而扩充了实际应用的领域。

小波变换在时域和频域同时具有良好的局部化性质,它的变换窗 a 的大小随频率增大而缩小;通过尺度 a 的伸缩调节(对应不同的频率),可以探讨函数 $f(t)$ 在不同尺度上的演变情况。小波变换是在给定尺度 a 和固定时刻 b 下的一个分析小波与待分析函数之间的内积。目前,常用的小波母函数有: Marr 小波、Haar 小波、Morlet 小波(复数形式)等,本文利用 Marr 小波或称墨西哥帽小波,进行小波变换。Marr 小波函数为:

$$\Psi(t) = (1-t^2) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} \quad -\infty < t < \infty \quad (5)$$

本文中线性变化趋势的检验计算采用文献[20]中介绍的 Kendall- τ 方法,因为该方法的本质是用来检测资料的相对量级,故在资料本身量级很小时,依然可以适用。该方法的统计量计算式为:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)(t_j - t_k) \quad (6)$$

如果 $\begin{cases} (x_j - x_k) \neq 0, & n_1 = n_1 + 1 \\ (t_j - t_k) \neq 0, & n_2 = n_2 + 1 \end{cases} \quad (7)$

则 $\tau = \begin{cases} s / \sqrt{n_1 n_2}, & n_1 \neq 0, n_2 \neq 0 \\ 0, & n_1 = 0 \text{ 或 } n_2 = 0 \end{cases} \quad (8)$

(6) 式中 x_j, x_k 分别为 j, k 年的观测值, t_j, t_k 为第 j, k 年的年份; (7) 式中 n_1, n_2 分别为 $(x_j - x_k)$ 和 $(t_j - t_k)$ 不等于零的累计次数; (8) 式中的 s 为 $(x_j - x_k)$ 的正负号累加和, τ 为信度检验的统计量。

2 青海东部春季降水的变化特征

2.1 自然概况

上述 12 个气象台站大多数处在湟水河、大通河和青海东部黄河干流流域,基本处在 $35^{\circ}31'N \sim 37^{\circ}23'N, 100^{\circ}37'E \sim 102^{\circ}51'E$, 海拔高度在 2 850 m 以内。表 1 给出了上述 12 个气象台站的有关基本气象要素的变化情况。其总的气候特点是相对于青海其他地区热量丰富,是青海省除柴达木盆地外最为丰富的地区。年平均气温 $2.5^{\circ}C$ (化隆) $\sim 8.7^{\circ}C$ (循化),年降水量分布在 252 mm (贵德) ~ 537 mm (湟中)。温度自东南向西北降低,降水略有增加。气温 $\geq 0^{\circ}C$ 的积温在 2 000 $^{\circ}C$ 以上,其中循化、乐都、民和等地可达 3 400 $^{\circ}C$ 以上。由于区域热量条件尚好,大部分地区作物生长期在 220 d 以上,故区域多种植春小麦、青稞、油料等经济作物。

表 1 青海东部地区 12 个气象台站有关气象要素(1971~2000 年平均)

Table 1 The meteorological element average at 12 stations in Qinghai eastern region(1971~2000)

气象台站 Station	西宁 Xining	湟中 Huangzhong	湟源 Huangyuan	化隆 Hualong	循化 Xunhua	乐都 Ledu	民和 Minhe	门源 Menyuan	共和 Gonghe	贵德 Guide	同仁 Tongren	尖扎 Jianzha	平均 Mean
年平均气温(℃) Mean temp.	6.2	3.7	3.1	2.5	8.7	7.3	7.9	0.8	4.0	7.3	5.6	7.9	5.4
年降水量(mm) Rainfall	366.8	537.8	405.5	444.8	265.9	329.6	340.4	521.4	314.3	252.5	401.4	342.5	376.9
无霜期(d) Non-frost	147	103	64	85	195	148	171	35	96	138	134	180	125
年蒸发量(mm) Evaporation	1683.1	1245.6	1325.5	1246.5	2066.0	1613.8	1525.8	1102.0	1692.1	1904.1	1397.3	1736.5	1544.9
年日照时数(h) Sun shine	2703	2578	2667	2643	2442	2665	2431	2554	2908	2871	2549	2681	2666

2.2 春季降水变化趋势分析

图 1 为青海省近 44 a 来春季降水变化趋势图。

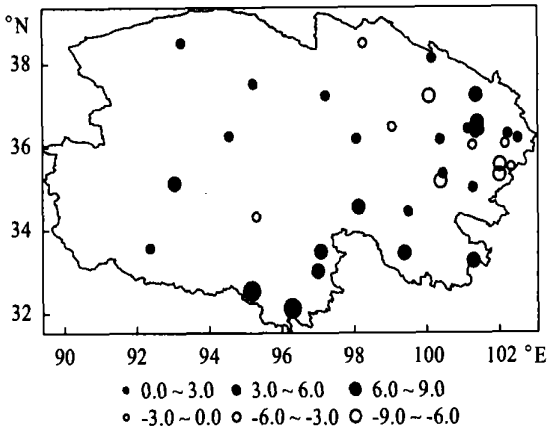


图 1 近 44 a 青海省春季降水变化趋势(mm/10a)

Fig. 1 The spring precipitation variation tendency of last 44 years in Qinghai plateau(mm/10a)

可以看出,近 44 a 来,青海省大部分地区春季

降水量的总趋势是增加的,增加幅度最大的地区是青南地区。东部地区大部呈弱的增加趋势,增加幅度最大的地区为民和,增幅为 2.37 mm/10a,其余多数地区增幅在 0.08~0.79 mm/10a,只有化隆、循化呈减少趋势,减少幅度为 1.09~2.78 mm/10a。从 44 a 的情况看,青海东部地区春季降水总体呈弱的增加趋势,增幅为 0.64 mm/10a,但进入 1990 年代以来,东部地区的干旱似乎有加剧趋势,这又做何解释呢? 为此再对东部地区不同时段的降水趋势做较为细致的分析。

东部地区气象台站分布相对集中,由于地理方面的原因,对其进行笼统的统计不是很妥当。为了使选择资料代表性明显,故选取资料年代相对较长,序列相对稳定,且地理位置处在东部地区中部的西宁站为代表与东部地区其它 11 个气象台站进行相关分析(表 2),结果发现其相关系数很高,均达极显著经验水平($P<\alpha=0.01$),故在以下的分析中皆以西宁站代表东部地区。

表 2 青海东部地区代表站与其它站点间春季(3~5 月)降水互相关系数

Table 2 The correlation coefficient of spring precipitation in Qinghai eastern region(From March to May)

代表站 Typical	民和 Minhe	乐都 Ledu	湟源 Huangyuan	湟中 Huangzhong	化隆 Hualong	循化 Xunhua	门源 Menyuan	共和 Gonghe	贵德 Guide	同仁 Tongre	尖扎 Jianzha
西宁 Xining	0.85	0.91	0.86	0.87	0.81	0.68	0.66	0.68	0.74	0.79	0.80

表 3 青海东部地区不同时段春季及年降水趋势变化(mm/10a)

Table 3 The tendency variation of annual and spring precipitation in different periods in Qinghai eastern region

时 段 Period	春季降水趋势 Spring precipitation	年降水趋势 Annual precipitation
1991~2004	0.11	-27.67
1981~2004	-1.15	9.82
1971~2004	5.55	9.50
1961~2004	0.64	10.90

在分时段的分析中(见表 3)可以看出,青海东部地区的年降水量只有在 1990 年代以来呈明显的减少趋势,其余时段均呈增加趋势,尤其是近 44 a 来的年降水趋势以 10.9 mm/10a 的速率增加;而春季降水只有在 1981~2004 年时段趋势呈弱的减少,减少幅度为 1.15 mm/10a,其余时段呈增加趋势,其中近 14 a 和近 44 a 来呈弱的增加趋势,增加最多的时段是 1971 年以来,增加幅度为 5.55 mm/10a,该

时段降水的增加也对年降水的增加贡献最大。此结论与文献[10]中高原年降水的变化结论一致,说明青海省春季降水的变化对年变化的贡献不容忽视,且进入 1990 年代以来春季干旱的加剧也与季度降水量的这种阶段性变化不无关系。

图 2 绘出了 1961 年以来青海东部地区近 44 a 春季降水量年际变化动态。可以看出,44 a 来,青海东部地区春季降水量变化波动性明显。总的特点是 1961~1970 年间春季降水多在多年平均值上下波动略偏多,偏多最明显的 1964 年为 148.7 mm,降水最少的 1962 年为 42.0 mm,10 a 平均为 83.9 mm,比 44 a 平均值多 5.7 mm;1971~1982 年春季降水量基本处于偏少时期,12 a 平均为 68.6 mm,比 44 a 平均值偏少 9.6 mm,期中最多 91.5 mm(1972 年),最少 46.0 mm(1980 年);1983~2004 年的近 20 多年春季降水量在波动中略增加,22 a 平均为 80.7

mm,比 44 a 平均值偏多 2.5 mm,期间最多 118.7 mm(2002 年),仅次于 1964 年、1967 年、1985 年,最少 37.0 mm(2000 年),为 44 a 的最低值。

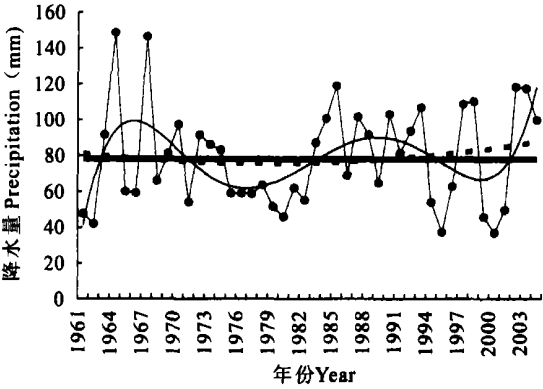


图 2 青海东部地区春季降水量年际变化
Fig.2 The spring precipitation of different years in Qinghai eastern region

表 4 青海东部地区不同时段春季降水量变化及与 44 a 平均值的比较(mm)
Table 4 The spring precipitation of different period and its difference compared with 44 years average in Qinghai eastern region (mm)

项目 Item	20 世纪 60 年代 1960 _s	20 世纪 70 年代 1970 _s	20 世纪 80 年代 1980 _s	20 世纪 90 年代 1990 _s	2001~2004	1961~2004
降水量 Precipitation	83.9	70.6	65.2	85.5	96.6	78.2
与 44 a 比较 Compare to Mean	>5.7	<7.6	<13.0	>7.3	>18.4	—

若以年代而论(表 4),青海东部地区 20 世纪 60 年代到本世纪的 2004 年间的 5 个年代(2001~2004 年暂作一个年代)春季平均降水量与 44 a 同期平均值相比,降水量波动变化明显,表现出 20 世纪 60 年代偏多,70 年代、80 年代偏少,进入 90 年代以来有增加的趋势。这与中国西部降水的变化趋势基本相仿^[12],与王根绪等对江河源(青海南部)的研究结果一致^[4]。

2.3 春季干旱变化的小波分析

为进一步分析青海东部地区春季旱涝的变化特征及其发生、发展规律,以下用小波分析方法对东部农业区春季降水的时~频特征进行分析。

根据青海东部地区春季降水时间序列,运用上述小波变换方法,进行 Marr 小波变换,结果如图 3,其内容反映了小波变换系数随时间和周期的分布,可看出在不同阶段的同一周期振荡以及同一阶段的不同周期振荡所表现出来的强弱程度是不一样的。在 10 a 及以上相对较大的时间尺度上,1961 年~1963 年、1975 年~1982 年、1993 年~2000 年基本上均表现为负位相,说明青海东部地区春季降水处

于偏少期;而 1964 年~1974 年、1983 年~1992 年、2001 年~2004 年基本上均表现为正位相,说明青海东部地区春季降水处于偏多期。当然由于小尺度振荡的存在,在大尺度的振荡中,也会出现个别相对少或多的时期。但总体上看,近 44 a 青海东部地区春季降水干、湿交替的特征非常明显,经历了 6 个干、湿交替的阶段,其突变点为:1964 年、1975 年、1983 年、1993 年、2001 年。而对于 10 a 以下相对较小的时间尺度,青海东部地区近 44 a 春季降水变化比较复杂,则增加了更多的相对干、湿交替阶段和突变点。1961~1962 年、1980~1982 年、1994~1996 年、1999~2000 年几乎在所有周期上均表现为负位相,不同周期的振荡同位相叠加,从而形成了春季强的干旱阶段。在其它阶段不同周期上表现为不同的位相,这些不同周期不同位相的振荡共同作用时就会出现不同程度的相互抵消,因而未形成春季强的干旱阶段。对应青海历史上出现的严重大旱年:1962 年、1980 年、1995 年、1999 年和 2000 年来看,则都出现在上述春季强的干旱阶段中。从青海省东部地区最近几年的春季降水变化来说,其较大尺度

和较小尺度的变化均处于较强的偏多期。

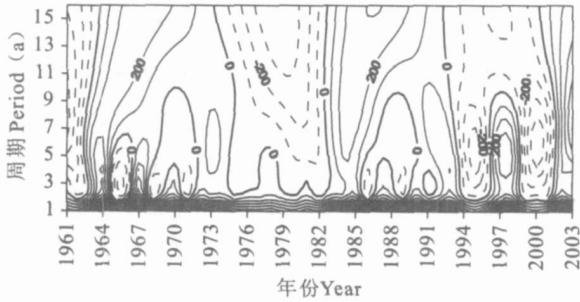


图 3 青海省东部地区春季降水量 Marr 小波变换结果

Fig.3 The result of Marr wavelet transformation for spring precipitation in Qinghai eastern region

从图中还可以看出,不同的时间尺度以及不同的阶段,它的周期变化也不尽相同。对于 10 a 及以上相对较大的时间尺度,10~12 a 和 16 a 左右的周期较为明显;而对于 10 a 以下相对较小的时间尺度,6~8 a 的周期突出。1961~1962 年春季干旱阶段的主要周期振荡为 7~9 a,1980~1982 年春季干旱阶段的主要周期振荡为 16 a 左右、1994~1996 年春季干旱阶段的主要周期振荡为 4~6 a、1999~2000 年春季干旱阶段的主要周期振荡为 5~7 a。

3 小 结

- 1) 青海东部地区春季降水量波动性明显,年代际变化表现出 20 世纪 60 年代偏多,70 年代、80 年代偏少,进入 90 年代以来偏多的趋势。
- 2) 青海东部地区春季降水总体呈弱的增多趋势,分阶段分析,只有在 1980 年代以来的趋势呈弱的减少,其余时段均呈增加趋势。
- 3) 对于 10 a 及以上相对较大的时间尺度,近 44 a 青海东部地区春季降水干、湿交替的特征非常明显,经历了 6 个干、湿交替的阶段,其突变点为:1964 年、1975 年、1983 年、1993 年、2001 年;而对于 10 a 以下相对较小的时间尺度,青海东部地区近 44 a 春季降水变化比较复杂,则增加了更多的相对干、湿交替阶段和突变点。
- 4) 不同的时间尺度以及不同的阶段,它的周期变化也不尽相同。对于 10 a 及以上相对较大的时间尺度,10~12 a 和 16 a 左右的周期较为明显;而对于 10 a 以下相对较小的时间尺度,6~8 a 的周期突出。
- 5) 在不同阶段的同一周期振荡以及同一阶段的不同周期振荡所表现出来的强弱程度是不一样的。在几乎所有周期的振荡都表现为较强的负位相时会发生强的干旱阶段。

6) 从最近几年青海东部地区的春季降水变化来看,其较大尺度和较小尺度的变化均处于较强的偏多期。

参 考 文 献:

[1] 汤懋苍,李存强,张 建. 青藏高原及其四周的近代气候变化[J]. 高原气象,1998,7(1):39-49.

[2] 汤懋苍,程国栋,林振耀. 青藏高原近代气候变化及对环境的影响[M]. 广州:广东科技出版社,1998.121-144.

[3] 孙鸿烈. 青藏高原的形成演化[M]. 上海:上海科学技术出版社,1996.168-192.

[4] 王根绪,李 琪,程国栋,等. 40 年来江河源区的气候变化特征及其生态环境效应[J]. 冰川冻土,2001,23(4):346-352.

[5] 白虎志,董文杰,马振锋. 青藏高原及邻近地区的气候特征[J]. 高原气象,2004,23(6):890-897.

[6] 王 谋,李 勇,潘 胜. 气候变化对青藏高原腹地可持续发展的影响[J]. 资源与环境,2004,14(3):92-95.

[7] 王 堰,李 雄,缪启龙. 青藏高原近 50 年来气温变化的研究[J]. 干旱区地理,2004,27(1):41-46.

[8] 高 荣,韦志刚,董文杰,等. 20 世纪后期青藏高原积雪和冻土变化及其与气候变化的关系[J]. 高原气象,2003,22(2):191-196.

[9] 王宝鉴,黄玉霞,何金海. 西北地区近 40 年 6~9 月降水的异常特征分析[J]. 气象,2004,30(6):28-31.

[10] 姚 莉. 青藏高原气候变化特征[J]. 气象科技,2002,30(3):163-164.

[11] 朱西德,李 林,秦宁生,等. 青藏高原年降水量的气候变化及其异常类型研究[J]. 气象科学,2003,23(4):452-459.

[12] 施雅风,沈永平,胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土,2002,24(3):219-226.

[13] 崔锦泰. 小波分析导论[M]. 西安:西安交通大学出版社,1995.96-123.

[14] 刘贵忠,邸双亮. 小波分析及其应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1992.68-95.

[15] 陈志芳. 佛山降水变化的小波特征[J]. 气象科技,2002,30(4):214-217.

[16] 徐丙莲,羿旭明. 基于小波变换的信号奇异性分析[J]. 数学杂志,2004,24(6):661-664.

[17] 刘 德,李永华,何卷雄. 重庆市夏季气温及降水变化的小波分析[J]. 高原气象,2003,22(2):173-78.

[18] 解明恩,张万诚. 云南短期气候预测方法与模型[M]. 北京:气象出版社,2000.25-27.

[19] 任福民,郭艳君,周琴芳,等. 小波变换及其对厄尔尼诺研究的初步应用[J]. 数理统计与管理,1998,17(3):21-25.

[20] Zhai Panmao, Pan Xiaohua. Trends in temperature extremes during 1951~1999 in China [J]. Geophys. Letters, 2003, 30(17):1913.

ANUDEM—A professional DEM interpolation software package

YANG Qin-ke¹, LI Ling-tao², Tim R³. Mcvicar, Tom G³. Van Nie⁴, ZHANG Cai-xia¹

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, 26 Xinong Road, Yangling, 712100, Shaanxi Province, China; 2. CSIRO Land and Water, GPO Box 1666, Canberra, 2601, ACT, Australia; 4. SIRO Land and Water, Private Bag No. 5, Wembley, 6913, WA)

Abstract: Because it has become common to produce DEM using interpolation based on digitized topographic maps it is important to investigate DEM options. ANUDEM is an advanced software package that has been designed to produce digital elevation models (DEMs) from very large topographic data sets, including elevation contours, point elevations and streamlines. The basic algorithms include interpolation algorithm, roughness penalty algorithms, drainage enforcement and locally adaptive strategies. Errors in the input data can be diagnosed and an optimum grid resolution, matched to the density and accuracy of the input data, can be provided by the program. ANUDEM is very efficient and has been applied all over the world. We applied ANUDEM in loess hilly area to interpolate digital topographic maps, including contours, spot heights, and stream networks, the results show that hydrologically correct DEM can be generated, and the quality is much better DEM based on TIN approach, the complex eroded terrain can be sufficiently represented.

Keywords: ANUDEM; DEM; interpolation algorithm; drainage enforcement algorithm

(上接第 25 页)

The evolvement characteristics and wavelet analysis of spring precipitation of last 40 years in east Qinghai

WANG Xi-juan, TANG Hong-yu, ZHANG Jing-hua
(Qinghai Meteorological Observatory, Xining, Qinghai 810001, China)

Abstract: Based on the spring precipitation data of 12 observatories in 1961—2004 in Qinghai province, the variation characteristics of spring precipitation on Qinghai plateau is analyzed, and the time—frequency characteristics of spring precipitation over Qinghai agricultural area is also analyzed by using linear trend analyze method and wavelet analysis method. The results show that the spring precipitation over the east area of Qinghai plateau had outstanding wavy character; its variation was large in the 1960s and 1990s and little in the 1970s and 1980s. The spring precipitation over the east area of Qinghai plateau generally increased weakly. From the 1980s to now, the spring precipitation decreased weakly, but increased in the rest of time. For the large time scale of equal to or more than 10 years, the characteristic of dry/wet—vicissitude in spring over the agricultural area of Qinghai was very significant in last 44 years, and 6 dry/wet—vicissitude periods occurred during these years, the replace point appeared in 1964, 1975, 1983, 1993, and 2001, the period of 10—12 and 16 years is obvious. The variation of spring precipitation for the time scale below 10 years over the agricultural area of Qinghai in last 44 years was rather complicated, the replace point and the relative wet/dry—vicissitude periods got more often, the period of 6—8 years was very clear. Heavy drought stage usually appeared when the whole oscillation period was heavy negative phase—shift. In recent years, the spring precipitation change over the east area of Qinghai plateau has got more often in both the large time scale and the short time scale.

Keywords: spring precipitation; variation characteristics; wavelet analysis