

中国西北地区秋季降水异常的特征分析

李耀辉¹, 李栋梁^{2*}, 赵庆云²

(1. 兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020; 2. 兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020)

摘要: 利用陕、甘、宁、青四省(区)分布均匀的 63 个测站近 40 a 的秋季降水资料, 通过 EOF、REOF、周期分析、小波分析等方法对中国西北东部地区秋季降水异常的空间分布、时间演变及周期变化等特征进行了比较详细的诊断研究, 并就其与赤道中东太平洋海温异常之间的相关关系作了统计分析, 得到一些有意义的结论。

关键词: 中国西北东部地区; 秋季异常降水; 时空特征

中图分类号: P468.0⁺24 **文献标识码:** A

1 引言

我国西北地区地域辽阔, 地形复杂, 气候上属于干旱、半干旱气候区, 干旱少雨是这里最重要的自然灾害。所以, 研究西北地区的降水规律、特征及干旱成因, 提高干旱预测能力, 是目前气候研究中的一项非常重要的内容。李栋梁等^[1]利用建站至 1998 年的长序列资料对甘肃河东年降水量在相空间中的周期变化作了分析, 找出了变化的周期, 为利用气候序列的周期性进行气候预测奠定了理论基础。作者曾对中国西北地区春季降水异常的时空分布特征进行了细致的分析, 并且诊断研究了太平洋秋季 SSTA 与西北春季降水的空间耦合性^[2]。李栋梁等^[3]、蔡晓军等^[4]利用 1960—1990 年 6~8 月和 3~5 月的降水资料对我国西北夏季、春末夏初降水的空间、时间特征以及青藏高原地面感热对西北春、夏降水异常的影响进行了诊断分析和数值研究。

对于西北地区秋季来说, 降水的多寡, 对冬小麦播种、出苗、保证苗全苗壮, 对当地秋粮生长有着直接影响, 并且关系到土壤蓄水保墒及来年春季旱象的轻重。农谚曰: “你有万担粮, 我有秋里墒”, 可见秋季降水对西北地区的重要性是不言而喻的。但就目前来看, 对西北秋季降水的异常特征、变化规律等方面的研究还不多。本文将利用更具有代表性、更完备的陕、甘、宁、青四省(区)63

个测站近 40 a 的秋季降水资料, 运用 EOF、REOF、周期分析、小波分析等方法, 对新疆以东的西北东部地区秋季降水的空间异常分布特征、时间变化特征等进行诊断探讨, 并就其与赤道中东太平洋海温异常的相关特征做了初步分析, 这对区域气候变化和短期气候预测是有意义的。

2 资料和方法

2.1 资料

降水资料选用陕、甘、宁、青四省(区)分布均匀的 63 个测站 1960—1997 年历年秋季(9~11 月)的月降水量和季平均降水量。赤道东太平洋海表温度取 NINOC 区(0°~10°S, 180°~90°W)的区域平均温度。

上述资料在分析前均进行了标准化处理。

2.2 主要方法简介

EOF 和 REOF 在提取气象场优势信号、反映气象场空间分布特征等方面有其独到之处, 这方面的工作也比较多, 详细方法介绍请参阅文献[5], 这里不再赘述。

用二阶主值函数 $Y(t) = c_0 + c_1 t + c_2 t^2$ 表示时间序列的变化趋势, 式中 t 表示时间序号, c_0 、 c_1 、 c_2 为系数, 由最小二乘法求得。

文中使用应用广泛的 Morlet 小波分析技术来分析时间序列演变的多时间尺度特征。另外, 文中还使用了常用的周期分析和相关系数分析, 并做相

收稿日期: 2000-02-26; 改回日期: 2000-07-16

基金项目: 国家“九五”重中之重科技项目 96-908-05-03 专题资助

作者简介: 李耀辉(1967—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事干旱气候及数值模式应用研究

* 现在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所工作, 甘肃 兰州 730000

应的显著性检验。

3 空间分布特征

首先给出 EOF 分解的前 3 个载荷向量的分布(图 1), 它反映出西北东部地区秋季降水的几种主要的大范围异常的空间分布特征。在图 1a 中, 载荷向量全区一致为正, 反映了 4 省(区)秋季降水整体异常的特征, 其中载荷量大值(0.6 以上)区域在青藏高原东部的陕、甘、宁、青的交界区, 说明这里是西北秋季最易出现降水异常的地区。图 1b 表现为东“-(+)”西“+(-)”的反向变化的空间分布特征, 其东部中心区在陕西中南部, 西部中心区位于甘肃河西及祁连山区, 中心轴线呈西北—东南走向。这种分布突出反映了秋季降水东西方向也是截然不同的, 即陕西中部、南部降水偏多, 河西及祁连山区则偏少, 反之亦然。第三载荷向量(图 1c)是一种南、北相反的分布型态, 两个中心区分别在宁夏和青海南部的黄河源头地区, 它反映了处在青藏高原主体的青海省南部与其它地方特别是与宁夏的秋季降水异常的显著差异。

这 3 个载荷向量对总方差的贡献为 31.5%, 其中第一载荷向量的方差贡献就达到 20.45%, 说明大范围降水趋势的一致性这一地区秋季降水的主要气候特征。

由于地理环境极其复杂, 因此西北地区不同区域之间的气候差异也十分明显, 用 REOF 可较好地揭示出这种气候上的差异性。在以上 EOF 的基础上对前 11 个主成分进行旋转, 取前 5 个载荷向量

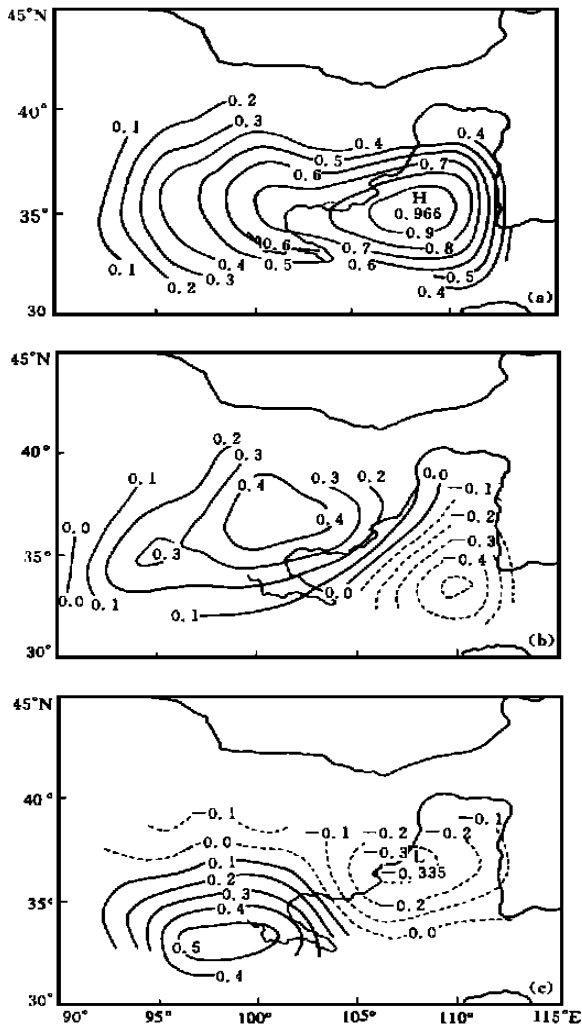


图 1 EOF 前 3 个载荷向量场的空间分布
Fig. 1 Spatial structures of the first three(a~c)loading vectors

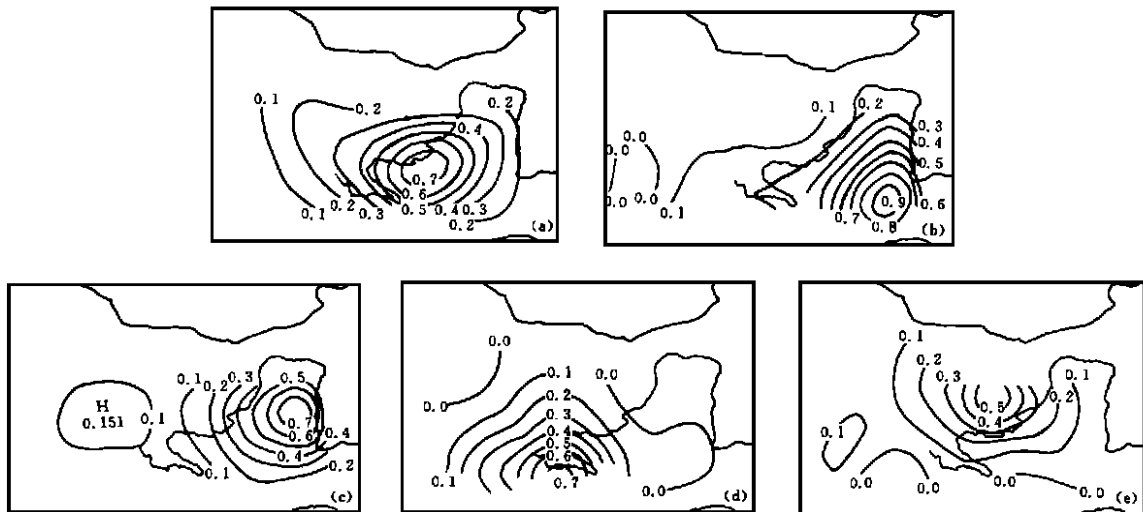


图 2 REOF 前 5 个载荷向量场的空间分布

Fig. 2 Spatial structures of the first five(a~e)rotating loading vectors

场进行分析, 得出该地区秋季几个易出现降水异常的区域(见图 2a~e)。由图可见, 第一载荷向量场(见图 2a)的载荷量大值区(≥ 0.60)为甘肃中部、宁夏南部及青海东部所在的范围, 这里位于青藏高原东北侧, 是西北湿润半湿润的东南部向干旱少雨的北部荒漠区过渡的地带, 降水变率大, 稳定性小, 也是最易出现降水异常的地区之一, 而且降水异常对农业生产的影响也十分巨大, 因此, 这里也是我国西北地区典型的雨养农业区。第二载荷向量场(见图 2b)集中在陕西南部(陕南), 为我国西北地区最湿润的地方。第三载荷向量场(见图 2c)反映了陕西北部(陕北)秋季降水的异常特征, 这里地处黄土高原, 气候上属于干旱半干旱易旱区, 其秋季降水与陕南有显著差异。青海南部黄河源头异常区则由第四载荷向量场(见图 2d)反映出来。秋季另外一个降水异常区在甘肃河西东部地区, 中心位于河西走廊中东部的武威, 由第五载荷向量场(见图 2e)反映出来。

与夏季^[3]相比, 前 2 个载荷向量场中心区偏南, 说明降水与季节息息相关。

以上 5 个异常区的代表站(载荷向量的最大值点)分别是甘肃的定西、陕南的镇安、陕北的绥德、青海的达日和甘肃的武威。

4 时间演变特征

4.1 年际变化趋势

图 3 是上述 5 个代表站秋季降水的时间序列及其二阶主值函数趋势。从图中可以看出, 青藏高原东北侧雨养农业区的秋季降水始终处于单调下降趋势(图 3a), 说明最近几十年这里秋季变干的趋势显著, 60 年代降水偏多, 70 年代有多有少, 1980 年是一个转折年份, 之后秋旱异常明显。陕南、陕北以及甘肃河西的降水均表现为抛物线型的变化趋势(图 3b、c、e), 1960 年以前降水由少变多, 60~70 年代总体为相对多雨期, 1980 年以后的降水出现下降趋势。青海高原的降水变化(图 3d)与高原东北侧的相似, 但其趋势没有后者明显, 60 年代初到 70 年代初秋季多雨, 之后出现由多到少的变化。

总的来看, 西北偏东地区的秋季降水大体存在两种变化趋势, 即线性下降和抛物线型, 但有一个共同的特点, 就是自 1980 年以后均出现明显减少的趋势, 秋旱加剧。这与西北地区夏季降水的变化趋势^[3]似乎是完全相反的。

4.2 周期特征

对这 5 个时间序列进行周期分析(表 1)。从表

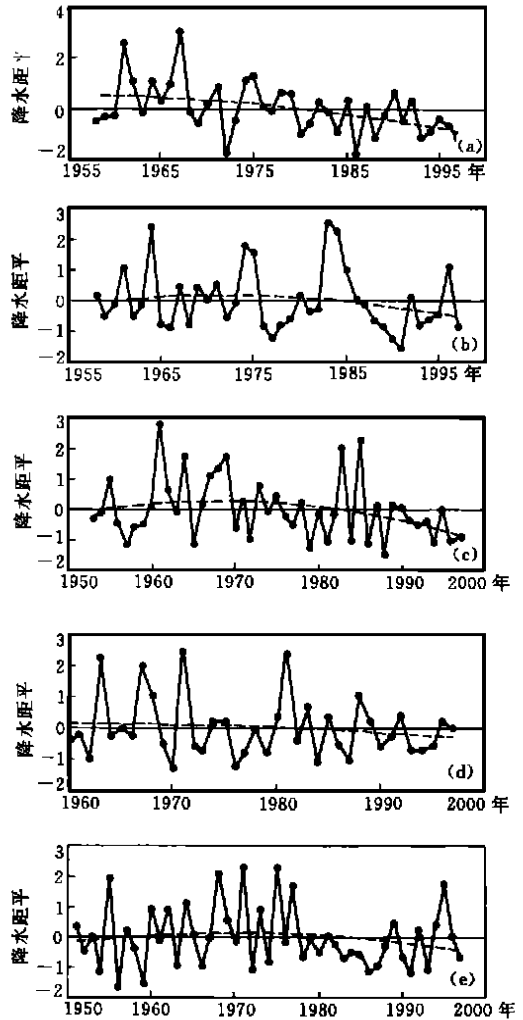


图 3 5 个代表站秋季降水时间序列及其二阶主值函数 (a) 定西, (b) 镇安, (c) 绥德, (d) 达日, (e) 武威
Fig. 3 Time serieses of rainfall anomaly in autumn and it second order trend curve. (a) Dingxi, (b) Zhenan, (c) Suide, (d) Dari and (e) Wuwei

表 1 定西等 5 个代表站秋季降水序列周期分析结果
Table 1 The periods of rainfall anomaly in autumn for five representative stations of Dingxi

代表站	周期/a						
	2	4	8	11	12	13	20
定西		5.58				6.31*	
镇安				22.61***	20.71**		
绥德	8.87*		8.87*				8.27*
达日	8.37**						
武威	2.96*						

* $\hat{\alpha} > \alpha_{0.1}$, ** $\hat{\alpha} > \alpha_{0.05}$, *** $\hat{\alpha} > \alpha_{0.01}$

中可看到, 高原东北侧和陕南的秋季降水变化以 11~13 a 的年代际周期为主, 其中陕南的 11 a 周期达

到了 0.001 的显著性水平; 高原东北侧的 4 a 周期虽未通过显著性检验, 但还是存在的。青海高原和甘肃河西主要表现为 2 a 周期的年际变化。而陕北地区既有 2 a、8 a 的年际周期, 又存在 20 a 的年代际周期。

利用小波分析, 便可研究该地区秋季降水异常的多时间尺度以及周期变化特征。由于西北地区青藏高原东北侧典型雨养农业区的 REOF 方差贡献最大, 秋季最易出现降水异常, 因此对这一地区的多时间尺度特征进行重点分析, 结果见图 4。在图 4a 中, 该地区秋季降水的 50 a 左右长期振荡的特征最为明显, 其次就是 13~14 a 的年代际周期, 而

10 a 以内的年际周期并不清楚。从长期变化特征来看, 1980 年是一个转折点, 之前为周期正位相, 峰值在 1967 年; 之后是负位相, 峰值在 1991 年。反映到降水上, 1980 年以前高原东北侧的秋季处在异常多雨期, 最为明显的多雨异常出现在 60 年代中后期; 1980 年以后转入少雨期, 90 年代初的少雨最明显, 这与上述分析结果是一致的。在多雨期和少雨期中存在着 13~14 a 周期的变化, 其中 1960—1968 年、1974—1979 年和 1968—1973 年分别是多雨期中的两个多雨段和一个少雨段, 由它们构成比较明显的 14 a 周期振荡; 少雨期中则存在 1981—1988 年、1993—1997 年以后这两个明显少雨段和 1989—1992 年的相对多雨段。

图 4b 是伸缩尺度 a 分别取 11~15、3~4 和 1 时的小波系数合成图, 由图可见不同时期的周期变化特征。当 a 取 11~15 时, 明显地反映出原序列的长期变化特征; 当 a 取 3~4 时, 13~14 a 左右的周期便表现出来, 但这种周期在 1980 年以前振荡明显, 1980 年以后表现比较弱; 当 a 取 1 时, 在 1980 年以前 4 a 左右的周期较为清楚, 而 1980 年以后则没有 4 a 周期, 可见青藏高原东北侧秋季降水的 4 a 周期并不存在于所有时段。

不论从 10 年际周期还是其长周期变化来看, 预计 2000 年左右可能是青藏高原东北侧秋季降水从旱段向多雨段变化的转折点, 之后该地区可能会出现 5~7 a 的秋季多雨阶段。

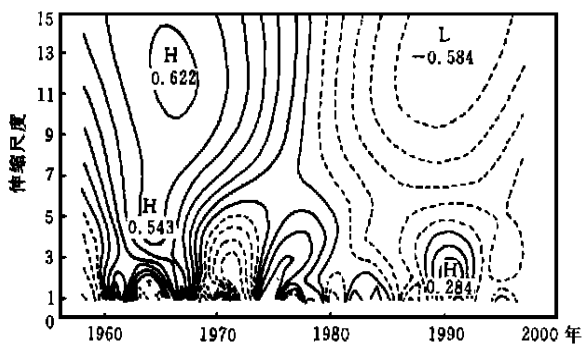


图 4a 定西站秋季降水时间序列小波分析结果
Fig. 4a The Morlet wavelet analysis result of autumn rainfall anomaly of Dingxi

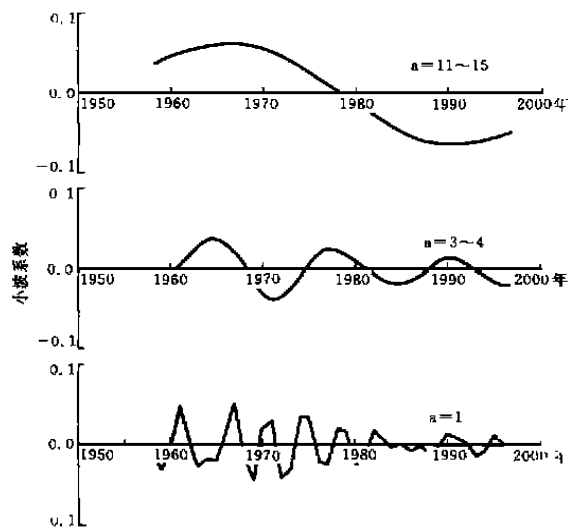


图 4b 对应于图 4a 不同伸缩尺度的小波系数合成结果

Fig. 4b The resultant results of the Morlet wavelet coefficients for different time scales correspond to Fig. 4a

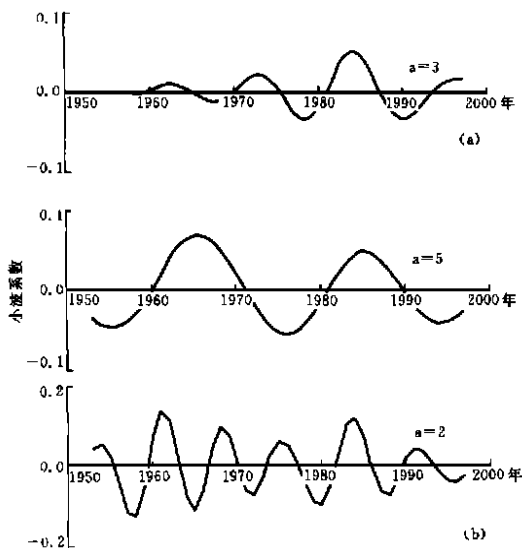


图 5 降水序列取不同伸缩尺度的小波系数合成结果
(a) 镇安, (b) 绥德, 其余说明同图 4b

Fig. 5 The same as Fig. 4b, but for (a) Zhenan, (b) Suide

同样,对镇安、绥德的降水序列作小波分析,相应的伸缩尺度分别取3、5和2(图5a、b)。从图中可以看出,陕南11~12 a的周期在1970年以前振荡较弱,70年代以后振荡加强,周期明显;陕北8 a和20 a的周期比较稳定,没有太大的变化。从它们的周期变化可以初步预测,下世纪初的10 a内陕南可能转入相对少雨期,而陕北则进入相对多雨段。

5 西北地区秋季降水与赤道东太平洋海温异常的关系

众所周知,ENSO事件是全球气候变化的最强信号,它无疑也是影响中国西北地区气候的重要因素。钱维宏等^[6]的研究发现,赤道太平洋NINOC区海温在大于120个月的年代际和2~3 a的年际

尺度上变化的信号较强。从长期变化来看,1977年以前海温为负距平,1977年以后海温出现了正距平。本文的分析表明,我国西北部地区秋季降水也存在2 a和11~13 a的显著周期,而且自1980年以后降水出现了与海温反向变化的减少趋势。可见这两者确实存在一定联系。为此,有必要对海温和西北秋季降水之间的关系作进一步探讨。

取NINOC区($0^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{S}$, $180^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{W}$)区域平均海温来表征赤道东太平洋海温异常,分别计算上述5个代表站秋季9~11月各月月降水量和秋季平均降水量与同期及前期各月NINOC区海温之间的相关系数(表2)。结果发现,降水与NINOC区海温之间主要表现为反相关关系,即NINOC区海温异常偏高/偏低,有El Niño/La Niña现象出现时,新疆以东的西北各地秋季降水普遍以偏少/偏多为

表2 各代表站降水与NINOC区平均海温之间的相关系数

Table 2 The correlation coefficients between the rainfall anomaly of representative stations and the SSTA of NINOC

代表站 降水	海 温											
	11月	10月	9月	8月	7月	6月	5月	4月	3月	2月	1月	
9 月	定西	—	—	-0.386	-0.381	-0.355				-0.255		
	镇安	—	—	-0.345	-0.369	-0.375	-0.447	-0.321				
	绥德	—	—	-0.338	-0.267	-0.269						
	达日	—	—						-0.266	-0.304	-0.419	
	武威	—	—									
10 月	定西	—	-0.347	-0.310		-0.281						
	镇安	—									+0.278	
	绥德	—										
	达日	—	-0.403	-0.304								
	武威	—	-0.405	-0.441	-0.348	-0.424	-0.478	-0.357	-0.319	-0.285	-0.305	
11 月	定西										-0.253	
	镇安									-0.354	-0.347	-0.320
	绥德											
	达日									-0.259	-0.307	
	武威											-0.257
秋 季	定西	—	—	—	-0.398	-0.406						
	镇安	—	—	—	-0.305	-0.304	-0.330					
	绥德	—	—	—								
	达日	—	—	—						-0.259	-0.352	
	武威	—	—	—	-0.299	-0.287	-0.350					-0.257

$\alpha_{0.1}=0.257$, $\alpha_{0.05}=0.304$, $\alpha_{0.01}=0.393$, $\alpha_{0.001}=0.489$

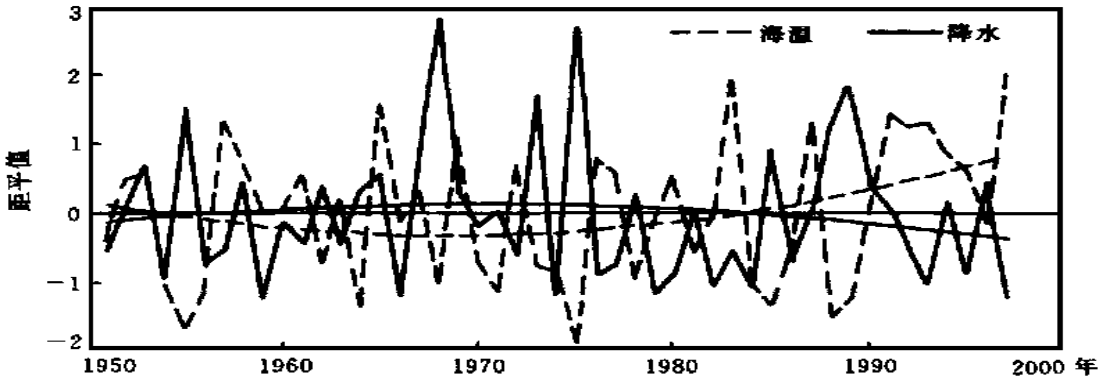


图 6 武威 10 月降水与太平洋 NINOC 区 6 月海温的距平序列曲线及其相应的二阶主值函数
细实线为降水的二阶主值函数, 细虚线为海温的二阶主值函数

Fig. 6 The anomalous curves for the rainfall anomaly of Wuwei in October and the SSTA of NINOC in June and its second order trend curves. (Thin solid line is trend curve of rainfall anomaly, thin dashed line is trend curve of SSTA)

主, 但不同异常区的降水与海温之间的相关特征也各不相同。以定西为代表站的高原东北侧雨养农业区 9 月份降水主要与同期及前期 8 月和 7 月的海温相关显著, 10 月份降水与同期 10 月及前期 9 月和 7 月海温显著相关, 而 11 月的降水与海温则没有太大的关系。陕南地区 9 月降水与同期及 5~8 月的海温相关显著, 其中与 6 月海温的相关最好, 达到 0.01 的显著性水平; 而其 10 月降水除了与 2 月海温存在正相关关系以外, 与其它月份海温的关系均不明显; 11 月的降水与 1~3 月的海温关系密切。陕北是这 5 个异常区中秋季降水与赤道中东太平洋海温关系最不密切的地区, 10、11 月降水与海温没有显著相关关系, 只有 9 月份降水与同期海温的相关达到 0.05 的显著性水平, 与前期 8 月和 7 月海温达到 0.1 的显著性水平。青海高原黄河源头区 (以达日为代表站) 9、11 月降水均与前期冬、春 2 月和 3 月海温关系明显, 其中 9 月降水与 2 月海温的相关通过了 0.01 的显著性检验; 而这里 10 月降水则与同期 10 月及近期 9 月相关较好, 尤其与 10 月海温的相关更好。甘肃河西东部的秋季降水与赤道中东太平洋海温异常的相关关系比较特殊, 9 月降水与海温没有显著相关, 11 月降水只与前期 1 月的海温有 0.1 显著性水平的相关关系, 但其 10 月份降水与海温的关系非常密切, 与 2~10 月各月的海温均有显著相关, 其中与 7、9、10 月三个月海温的相关达到 0.01 显著性水平, 与 6 月海温的相关接近 0.001 的显著性水平, 是各站中相关最好的。

图 6 是武威 10 月份降水距平与太平洋 NINOC

区 6 月份海温距平的时间序列曲线及其相应的二阶主值函数。由图可见, 两者的长期趋势表现为反向的抛物线型, 转折年份均为 1983 年, 之后海温变为正距平, 降水则出现负距平。它们的年际变化也基本相反, 在 6 月份表现出的 12 次 El Niño 事件中, 有 8 次武威 10 月降水偏少; 6 次 La Niña 事件中有 4 次降水为正距平, 符合率均为 66.7%。这与上述结果是一致的。

总的来看, 9 月份的降水主要与近期 6~9 月的海温异常相关显著, 而 11 月降水则与前期 1~3 月的海温关系明显。从秋季平均降水量的情况来看, 高原东北侧、陕南、河西东部秋季降水与前期夏季 NINOC 区的海温负相关显著, 黄河源头区降水与 2、3 月海温相关显著, 陕北秋季降水则与海温关系不明显。由此可以看出, 由于受不同气候系统的影响, 西北地区不同区域秋季降水对赤道中东太平洋海温异常的响应也不尽相同。

6 主要结论

利用更具有代表性、更完备的陕、甘、宁、青四省(区)63 个测站近 40 a 的秋季降水资料, 运用 EOF、REOF、周期分析、小波分析等常用的统计方法, 对以上西北东部地区秋季降水异常的时空特征及其与赤道中东太平洋海温异常的相关关系诊断, 得出如下主要结论:

(1) 就整体而言, 大范围区域降水的一致性这一地区秋季降水的主要特征, 其次为东、西反向变化的空间异常分布型态; 就区域尺度来说, 青

藏高原东北侧、陕西南部(陕南)、陕西北部(陕北)、青海南部黄河源头区以及河西走廊东部依次是西北东部地区秋季主要的降水异常区域。

(2) 西北东部地区秋季降水在时间上大体存在线性下降和抛物线型两种长期变化趋势, 1980年以后出现降水减少, 秋旱加剧的趋势。

(3) 青藏高原东北侧和陕南的秋季降水以 11~13 a 的年代际周期为主, 青海南部和甘肃河西则主要表现为 2 a 周期的年际变化, 陕北地区既有 2 a、8 a 的年际周期, 又存在 20 a 的年代际周期。从小波分析结果可以初步预测, 2000 年左右可能是一个转折点, 之后青藏高原东北侧可能出现 5~7 a 的秋季多雨阶段, 陕南可能出现大约 10 a 的相对少雨期, 而陕北则进入相对多雨期。

(4) 西北东部地区秋季降水异常与 NINOC 区海温之间主要表现为反相关关系, 即 NINOC 区

海温异常偏高/偏低, 有 El Niño/La Niña 现象出现时, 降水普遍以偏少/偏多为主。但不同异常区降水与海温之间的相关特征各不相同。

参考文献

- [1] 李栋梁, 谢金南, 王蕾等. 甘肃河东年降水量的周期变化[J]. 高原气象, 2000, 19(3): 295-303
- [2] 李耀辉, 李栋梁, 赵庆云. 中国西北春季降水与太平洋秋季海温的异常特征及其相关分析[J]. 高原气象, 2000, 19(1): 100-110
- [3] 李栋梁, 谢金南, 王文. 中国西北夏季降水特征及其异常研究[J]. 大气科学, 1997, 21(3): 331-340
- [4] 蔡晓军, 李栋梁, 姚辉. 中国西北地区春末夏初降水异常的时间变化特征[J]. 高原气象, 1998, 17(2): 170-181
- [5] 吴洪宝, 李栋梁, 章基嘉. 中国冬季月平均气温异常的旋转 EOF 分析[J]. 南京气象学院学报, 1995, 18(3): 349-354
- [6] 钱维宏, 朱亚芬, 叶谦. 赤道东太平洋海温异常的年际和年代际变率[J]. 科学通报, 1998, 43(10): 1098-1102

An Analysis on Characteristic of Autumn Rainfall Anomaly in Northwest China

LI Yao-hui¹, LI Dong-liang², ZHAO Qing-yun²

(1. Lanzhou Institute of Arid Meteorology, Lanzhou 730020, China;

2. Lanzhou Central Meteorology Station, Lanzhou 730020, China)

Abstract: With EOF, REOF, period analysis and Morlet wavelet analysis, the spatial anomaly features, time evolution rules and period variations for autumn rainfall anomaly in northwest China and the relationships between the rainfall anomaly and the middle-east Pacific SSTA are studied in detail by using the autumn precipitation data for the period of 1960~1997 from 63 observational stations and the SSTA in the area of NINOC. Some significant results are obtained.

Key words: Northwest China; Autumn rainfall anomaly; Spatial and temporal characterise