DOI:10.13448/j.cnki.jalre.2013.03.032

第27卷 第3期 干 旱 区 资 源 与 环 境 Vol. 27 No. 3
2013年3月 Journal of Arid Land Resources and Environment Mar. 2013

文章编号:1003 - 7578(2013)03 - 032 - 08

近51年新疆S干旱指数变化特征分析*

潘淑坤,张明军,汪宝龙,李小飞
(西北师范大学地理与环境科学学院,兰州 730070)

提 要: 利用新疆地区52个气象站1960 - 2010年月降水量和无雨日数资料,定义了S干旱指数,采用EOF、REOF、Morlet小波分析、Mann - Kendall分析、分布函数等方法,分析了近51年来新疆干旱指数的时空分布特征。结果表明:EOF分解得出,新疆干旱指数存在三种主要的空间分布,即全区一致变化型、南北反向变化型和东西反向变化型;根据REOF前四个旋转荷载向量场高载荷区分布,将新疆干旱指数分成四个区,即新疆北部地区、新疆南部地区、天山中西部地区和天山东部地区;新疆北部地区、天山中西部地区和天山东部地区干旱指数有增大的总趋势,新疆南部地区干旱指数有减小的总趋势。

关键词: 新疆;无雨日数;干旱指数;EOF;REOF
中图分类号: P426.616 **文献标识码:** A

当前全球气候变暖已经成为一个不争的事实[1],随着全球气候变暖,区域性水分平衡,干湿状况以及时空特征也将发生变化,而气候的干湿状况变化对区域性农业生产和人民生活具有巨大影响[2]。新疆深居中纬度欧亚大陆腹地,远离海洋,受水分来源限制,降水稀少,且蒸发强烈,属典型的大陆性干旱气候区和生态脆弱区[3]。干旱缺水是新疆的主要环境特征,而由其引发的干旱灾害成为新疆最为严重的自然灾害。施雅风等[4]研究指出,在全球气候变暖的背景下,中国新疆地区的气候发生由暖干向暖湿的转变,而气候变暖驱动水循环变化复杂化,这可能导致新疆地区气候环境发生变化,出现冰川消融加速,降水增多,径流增加与湖泊水位上升,以及极端气候事件增多等现象[5-7],因此,分析新疆地区干湿状况及其时空变化特征,对开发利用气候资源,调整农业种植区划和生产布局具有重要的参考价值。目前,普宗朝等[8,9]根据降水量、潜在蒸散量和地表湿润指数等要素对新疆1961 - 2008年干湿气候状况进行了研究;邢文渊等[9,10]分别对北疆和南疆地表湿润指数进行了分析。然而,普宗朝、邢文渊等都是运用降水量和潜在蒸散量计算湿润指数来研究新疆地表干湿变化状况,缺少对干旱指数的定义及其变化特征的分析。最近,一些学者通过无雨日数来对西北的干旱变化特征进行分析,杨金虎等[11]根据无雨日数分析了中国西北夏季干旱的时空分布特征,庄晓翠等[12]也运用了无雨日数对新疆阿勒泰地区暖季的干旱指数变化特征进行了分析,虽就小区域研究而言取得了一定的成果,但是缺乏利用无雨日数对整个新疆进行干旱指数的研究。由于长期无雨和降水偏少共同导致干旱,因此文中就这两方面考虑对新疆的干旱指数变化及其特征进行了研究。

1 材料与方法

1.1 材料

依据资料的连续性及最长时段性等标准,共选取符合条件的气象站52个(图1)。地面气象站的月降水量资料由中国气象局国家气象信息中心(http://www.nmic.gov.cn)提供,且经过了较为严格的质量控制,包括极值检验和时间一致性检验;通过统计逐月、日降水量 < 0.1mm 的日数作为该月的无降水日数资

* 收稿日期:2012 - 3 - 13;修回日期:2012 - 3 - 23。
基金项目:国家自然科学基金项目(41161012);教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET - 10 - 0019);国家重点基础研究发展计划(973)项目(2010CB951003)资助。
作者简介:潘淑坤(1987 -),女,辽宁丹东人,硕士研究生,主要从事全球气候变化方面的研究。E - mail:pskwan@sina.com
通讯作者:张明军(1974 -),男,甘肃宁县人,教授,博导,主要从事气候变化与冰川研究。E - mail:mjzhang2004@163.com

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

料，进行年干旱指数的计算。

1.2　方法

干旱指数[11,13]计算方法为：$S = vn / \sigma n - vr / \sigma r$　　(1)

式中：S 是干旱指数，vn 和 σn 分别是无雨日数的距平和均方差，vr 和 σr 分别是降水量的距平和均方差。当 S 为正时表示干旱，为负时表示湿润，该干旱指数的主要特点是既能反映出由于降水的多少导致的旱涝情况，也能反映出由于无雨日数的多少而造成的旱涝事实。根据此公式定义的干旱指数划分的干湿等级[12]（表 1）。

表 1　S 干旱指数的干湿等级

Tab. 1 S drought indices and the drought and wet grade

S 干旱指数值	等级	S 干旱指数值	等级
S≥4	极端干旱	−2≤S<−1	轻微湿润
3≤S<4	严重干旱	−3≤S<−2	中等湿润
2≤S<3	中等干旱	−4≤S<−3	严重湿润
1≤S<2	轻微干旱	S<−4	极端湿润
−1≤S<1	正常		

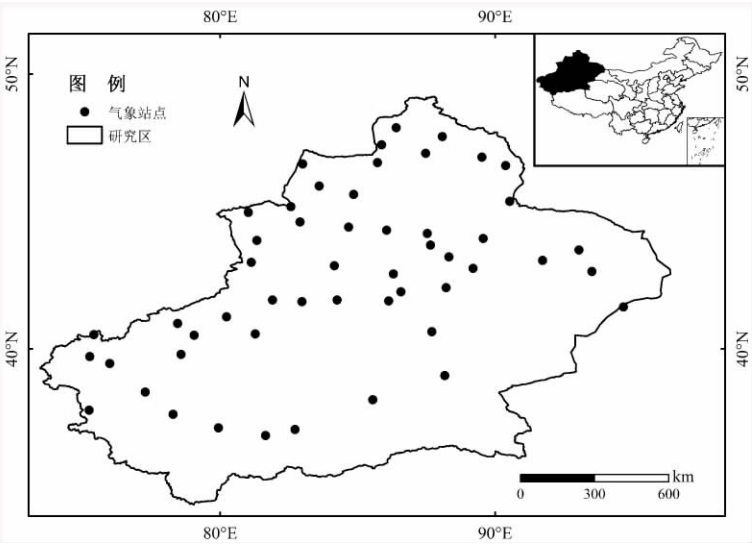

图 1　新疆气象站点分布

Fig. 1 The distribution of meteorological stations in Xinjiang

干旱指数的时空变化特征的研究方法分别是：采用经验正交函数（EOF）和旋转经验正交展开（REOF）方法分析新疆干旱指数的空间分布；运用 Morlet 小波分析方法和 Mann − Kendall 检验方法对其干旱指数进行周期和突变分析。

2　干旱指数的空间分布特征

2.1　年干旱指数的 EOF 分析

根据新疆 52 个站点近 51 年来干旱指数距平场的 EOF 分析（表 2），前四个特征向量的方差贡献率分别为 32.66%，19.49%，7.47%，5.18%，累计贡献率达到 67.49%。同时，分解出来的经验正交函数通过了显著性检验[14]，即前四个特征向量对应的经验正交函数是有价值的信号，这可以表明前四个特征向量场能够反映新疆干旱指数的主要空间变化特征。

表 2　S 干旱指数前 EOF 和 REOF 分析各分量的方差贡献率

Tab. 2 The variance contribution ratio of the principal components of EOF and REOF analysis on S drought index

序号	EOF			REOF		
	方差贡献	贡献率 (%)	累计贡献率 (%)	方差贡献	贡献率 (%)	累计贡献率 (%)
1	16.98	32.66	32.66	12.02	23.12	23.12
2	10.13	19.49	52.15	11.34	21.81	44.93
3	3.88	7.47	59.61	4.44	8.53	53.46
4	2.69	5.18	64.79	3.39	6.51	59.97
5	2.15	4.14	68.93	2.74	5.26	65.23
6	1.62	3.13	72.07	2.15	4.13	69.36
7	1.39	2.66	74.73	1.98	3.81	73.17
8	1.24	2.38	77.11	1.53	2.94	76.11
9	1.21	2.33	79.44	1.47	2.82	78.93
10	1.07	2.06	81.50	1.34	2.57	81.50

图 2 为新疆干旱指数 EOF 分析的前四个空间特征的分布情况。由图可见，第一模态表现为新疆整个区域一致为正，说明新疆干旱指数变化总体上具有较好的一致性，即干旱指数普遍增大或普遍减小，但高值中心集中在新疆北部地区，其他地区向量值均较小。第二模态表现为新疆北部与新疆南部反相位变化的空间分布特征，这种分布表明新疆北部干旱指数偏大（小）时，新疆南部则偏小（大）。第三模态和第四模态为东西反相位的空间分布特征，第三模态正中心区在新疆西部，负中心值在新疆东部，而第四模态反之。

在 EOF 分析的基础上，对前十个特征向量进行方差极大值正交旋转（REOF），旋转后的各向量方差贡献要比旋转前分布均匀（表 2），总的方差贡献率没有发生变化，旋转效果比较显著。从图 3 可以看出，第一旋转特征向量方差贡献率为 23.12%，大值区出现在新疆北部地区，中心最大值为 0.984（阿勒泰），说明阿勒泰为新疆北部地区干旱指数变化敏感的中心地区；第二旋转特征向量方差贡献率为 21.81%，大值区

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

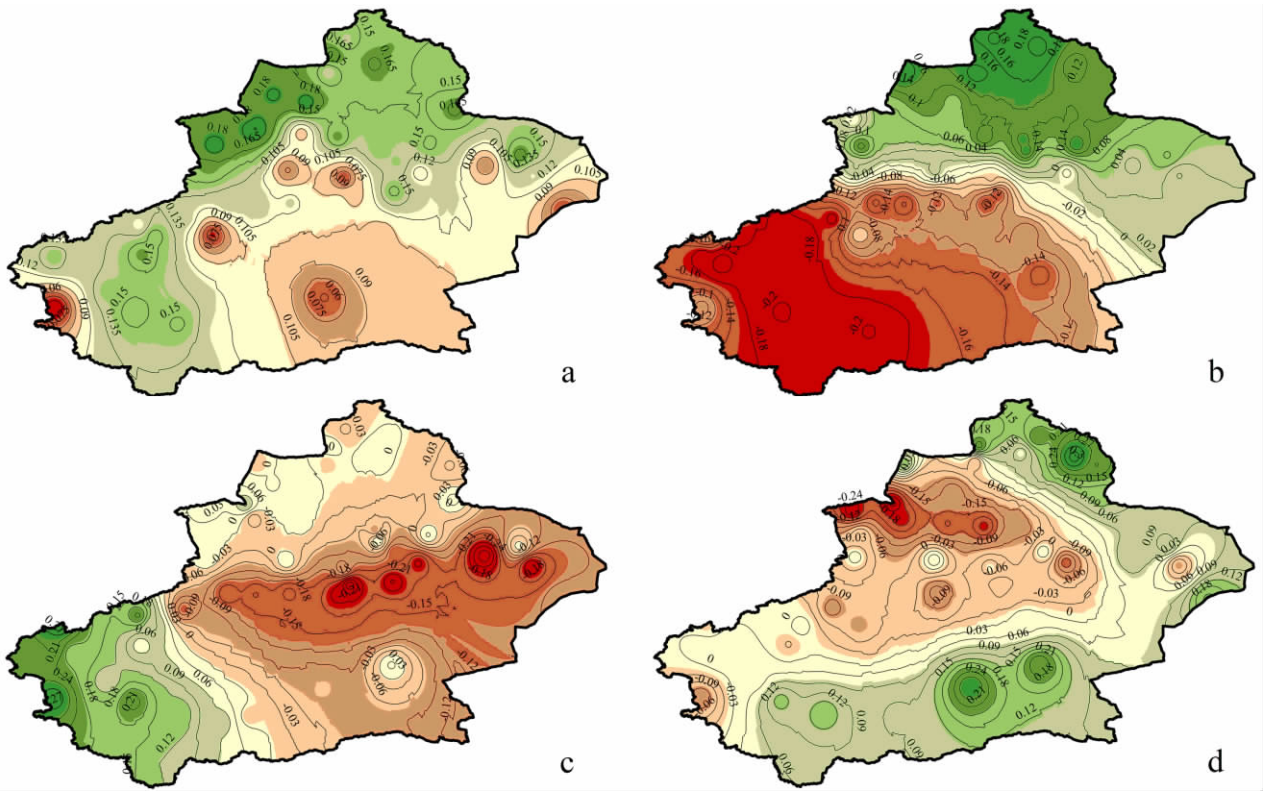

图 2 EOF 前四个模态的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of the first four modes of EOF

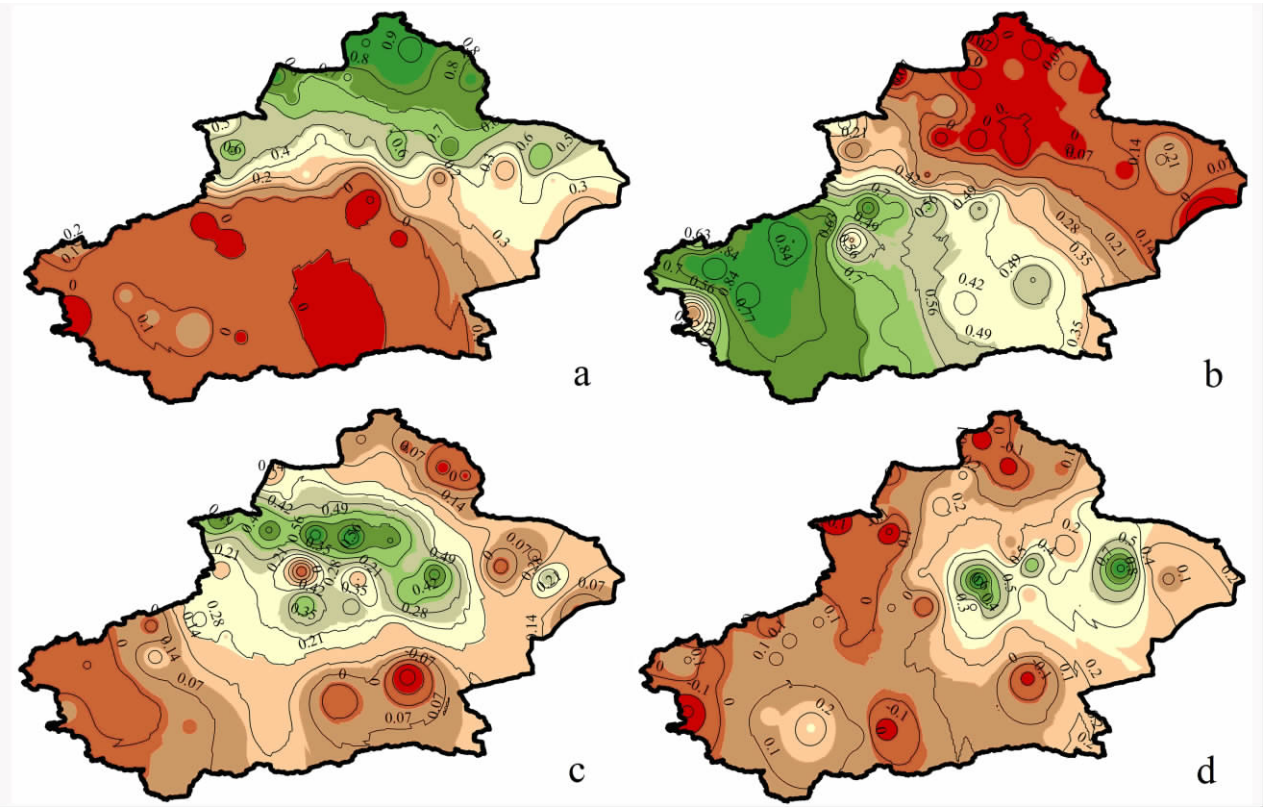

图 3 REOF 前四个模态的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of the first four modes of REOF

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

出现在新疆南部地区，中心最大值为 0.911（柯坪）；第三旋转特征向量方差贡献率为 8.53%，大值区出现在天山中西部地区，中心最大值为 0.685（石河子）；第四旋转特征向量方差贡献率为 6.51%，大值区出现在天山东部地区，中心最大值为 0.858（巴仑台）。

2.2 干旱指数区域划分

REOF 每个空间模态中数值反映了空间相关程度，大值区内各地干旱变化之间相关程度较高，由此把相关程度较高的区域划分为同一区域。前四个旋转特征向量累积方差贡献率 59.97%，代表了新疆干旱指数的主要空间变化特征，得出干旱指数的四个主要不同类型的区域。取各区中最大特征向量对应的站点作为各分区的代表站，它们分别为新疆北部的阿勒泰，新疆南部的柯坪，天山中西部的石河子，天山东部的巴仑台，取这四个站的干旱指数序列分别分析各区域干旱指数的时间变化特征。

3 干旱指数的时间变化特征

3.1 年际变化特征

图 4 给出了新疆地区各分区干旱指数变化曲线。由图 4 可以看出，除了新疆南部柯坪的干旱指数在减小之外，新疆其他三个分区的干旱指数都呈增大趋势。新疆北部地区干旱指数总体上增大，但 1984 年之前干旱指数呈减小趋势，即有向湿润转化的趋势；1984 年之后干旱指数又增大，即新疆北部地区总体上向干旱转化（图 4a）。从表 1 可知，在 1962 和 2008 年干旱指数超过了 4，发生了极端干旱事件。新疆南部地区干旱指数总体上减小，且趋势明显，即由干旱向湿润转化（图 4b），但是在 1961 和 1986 年发生了极端干旱事件。天山中西部地区与新疆北部地区变化趋势一致，但是天山中西部地区变化趋势更显著一些（图 4c）。天山东部地区干旱指数一直呈增大趋势，且增大趋势显著，即干旱趋势越来越严重（图 4d），在 1985 年干旱指数达到了 6.28，发生了极端干旱事件。

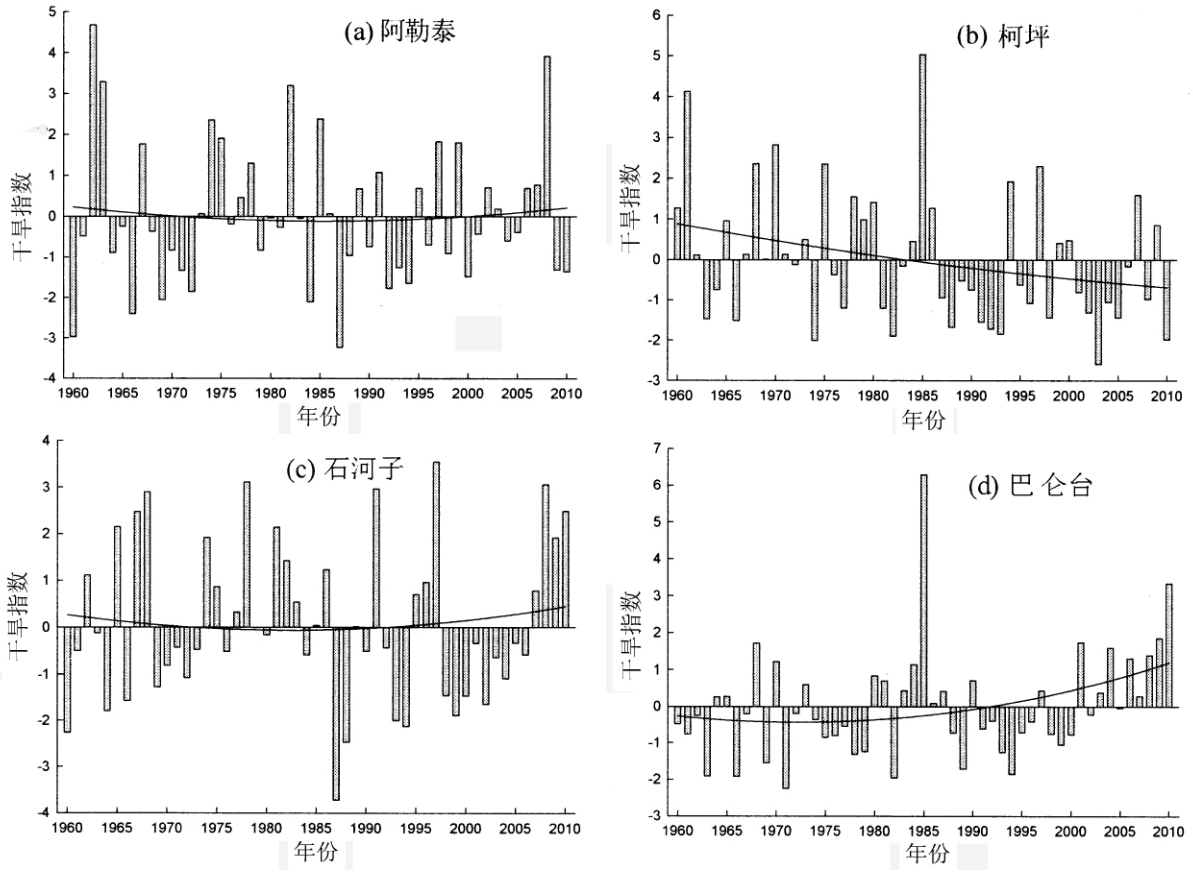

图 4　1960 – 2010 年新疆分区四个代表站年 S 干旱指数年际变化

Fig. 4 Annual variation of S drought index at every type representative stations in Xinjiang 1960 – 2010

3.2 年代际变化

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3.2.1 年代际距平变化

表3是近51年新疆各分区代表站干旱指数的年代际距平表。从表3可以看出,各代表站在不同年代的变化存在很大差异。阿勒泰地区干旱指数在60－70年代持续增大,从80年代开始减小,并在90年代达到最小值,进入21世纪之后又开始增大。柯坪地区在60年代干旱指数最大,然后逐渐减小,21世纪后达到最小值,也就是柯坪地区由干旱向湿润转化。石河子地区的干旱指数和阿勒泰有着相同的变化趋势,不同的是,石河子在80年代距平达到最小值。巴仑台地区干旱指数60－70年代均为负值并逐渐减小,到80年代又迅速增加,90年代之后再次减小达到最小值,进入21世纪之后达到最大值,表明21世纪前10年巴仑台出现了严重的干旱化趋势。

表3 1960－2010年新疆各分区代表站S干旱指数的年代际距平

Tab. 3 Inter－decadal departure of the annual S drought index at every type representative stations in Xinjiang 1960－2010

年代	阿勒泰	柯坪	石河子	巴仑台
1960－1969	0.029	0.525	0.025	－0.478
1970－1979	0.103	0.466	0.205	－0.573
1980－1989	－0.034	0.180	－0.243	0.556
1990－1999	－0.165	－0.435	－0.110	－0.590
2000－2009	0.203	－0.539	－0.117	0.752

3.2.2 分布函数

为了进一步分析新疆干旱指数的年代际间的变化情况,以干旱指数为代表,对其干旱指数分布函数进行研究。从图5a可以看出,随着时间的推移,阿勒泰地区干旱指数向负方向移动,即有向湿润转化的趋势;但是70－80年代之间干旱指数向正方向移动,干旱指数增大,从90年代开始又向负方向移动。柯坪地区干旱指数从60年代到21世纪一直向负方向移动(图5b),干旱指数在减小,即由干旱向湿润转化。石河子地区干旱指数总体来说没有发生太大的移动(图5c),说明干旱指数变化波动不大,只在80年代向正方向移动了一些。从60年代到21世纪,巴仑台地区干旱指数有向正方向移动的总趋势(图5d),干旱指数变大,即向干旱转化。

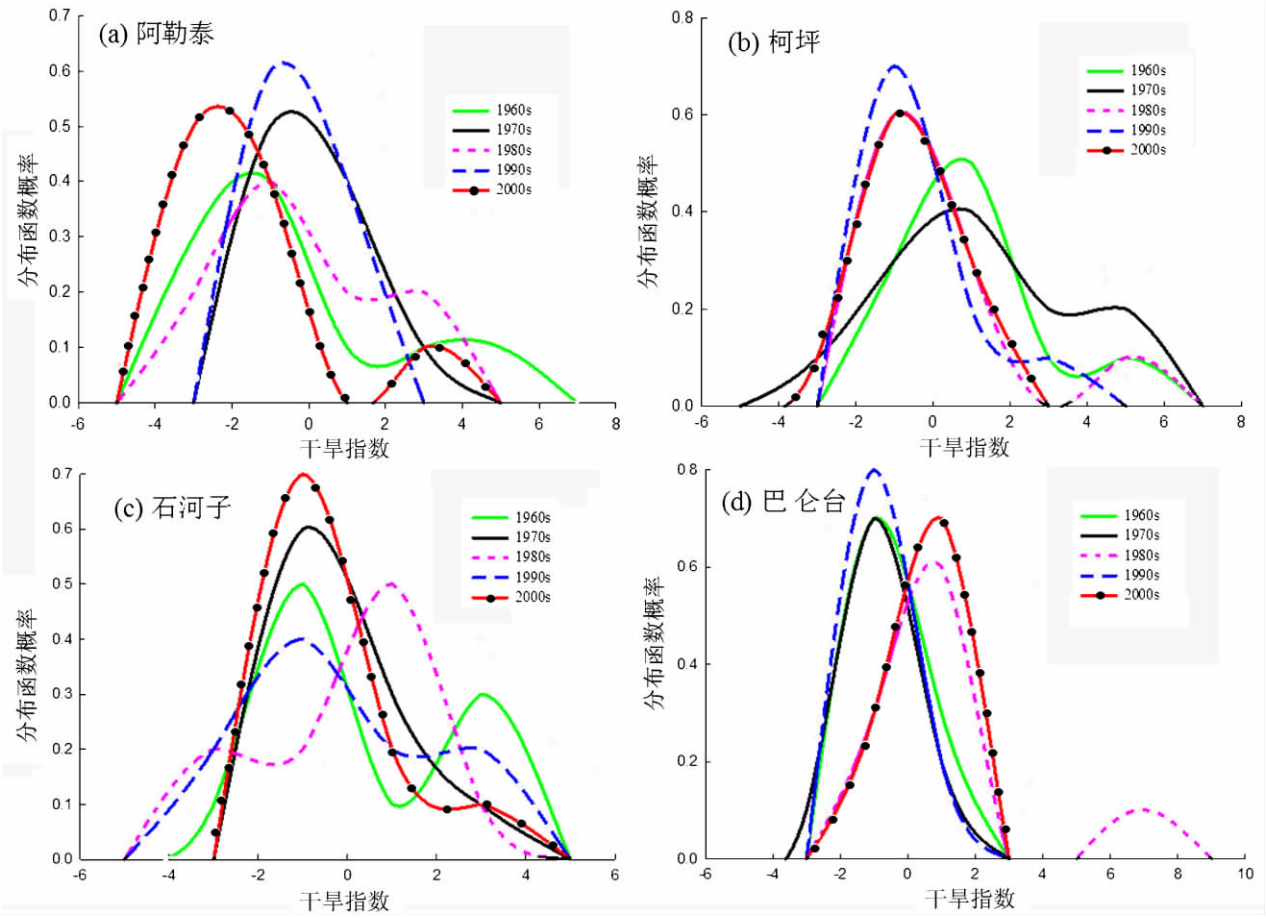

图5 1960－2010年新疆分区各代表站S干旱指数的分布函数

Fig. 5 Distribution function of S drought index at every type representative stations in Xinjiang 1960－2010

3.3 周期分析

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

图 6 给出了新疆各分区代表站干旱指数序列的小波变换系数的实部图，小波系数曲线图可以准确的反映出干旱指数序列在某一主周期尺度上的变化趋势，从小波系数值的正负可以看出干旱指数的增大或减小，小波系数值为正说明干旱指数为正，小波系数值为负说明干旱指数为负。从图 6a 可以看出，阿勒泰地区干旱指数序列在 1980 年之前存在着 8 年左右和 15 年左右的周期振荡，之后存在着准 12 年左右的周期振荡; 1990 年之前也存在着准 5 年左右的周期振荡，近年来也出现了 8 年的周期振荡。从图 6b 可以看出，柯坪地区在整个时间系列中 18 年左右的周期振荡，存在 4 个明显偏高中心，它们是 1963 – 1973 年、1977 – 1981 年、1984 – 1985 年、1995 – 2001 年，5 个明显偏地中心是 1964 – 1969 年、1973 – 1976 年、1982 – 1986 年、1988 – 1994 年、2000 – 2006 年; 在 1990 年之前还存在 13 年左右的周期振荡，之后也存在 8 年左右的周期振荡。由图 6c 可以看出，在 1975 年之前存在准 15 年左右的周期振荡，1985 年之后以 8 年左右的周期振荡较强。由图 6d 可以看出，巴仑台在整个时间系列中存在 8 年和 13 年左右的周期振荡。

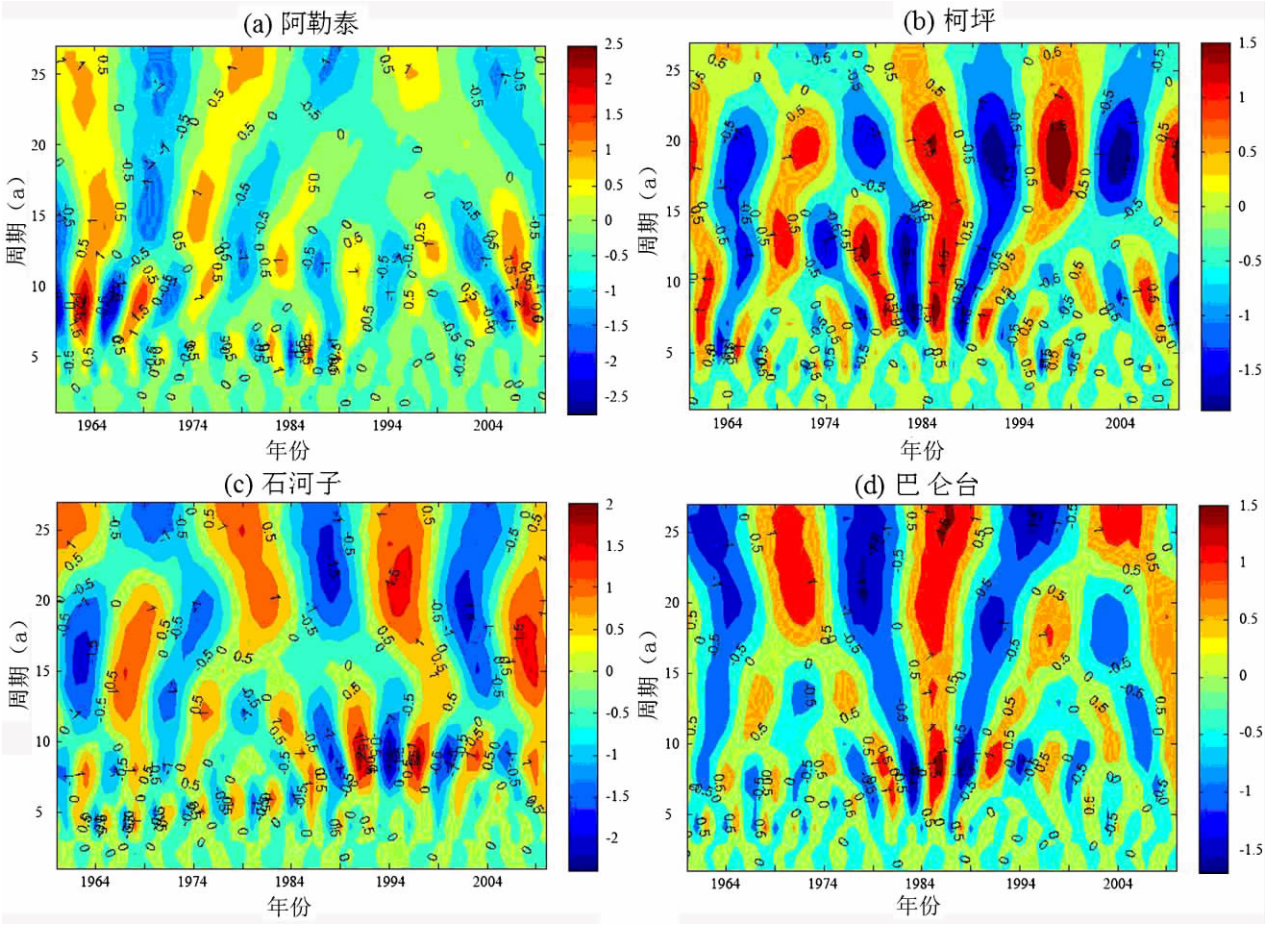

图 6　新疆分区各代表站 S 干旱指数的 Morlet 小波变换系数

Fig. 6 The part of the Morlet wavelet analysis of S drought index at every type representative stations in Xinjiang

3.4　突变检测

利用 Mann – Kendall 法，检测新疆 4 个分区代表站 1960 – 2010 年干旱指数序列的变换趋势和突变。通过检测，阿勒泰地区突变不显著，因此图略。由图 7a 可以看出，UF 曲线在绝大部分时间都小于 0，说明干旱指数总体上呈减小趋势，即向湿润转化; 根据 UF 和 UB 曲线交点的位置，可以确定阿勒泰地区干旱指数存在 3 个突变点，突变年分别是 1981 年、1984 年和 1986 年，具体突变从 1986 年开始。图 7b 显示石河子地区 M – K 检验曲线 UF 和 UB 在 1984 年相交于置信度线之间，但 UF 并没有超出置信度线，因此可以判断出石河子地区的干旱指数在 1984 年发生了由大向小的转折，由于曲线 UF 在 1984 年之后并没有超出置信度线 $\mu_{0.05} = -1.96$，所以可以认为石河子的干旱指数序列在 1960 – 2010 年没有发生突变。图 7c 显示巴仑台地区 M – K 检验曲线 UF 和 UB 在 2008 年相交于置信度线之间，之后 UF 超出置信度线，说明在 2008 年发生突变。

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

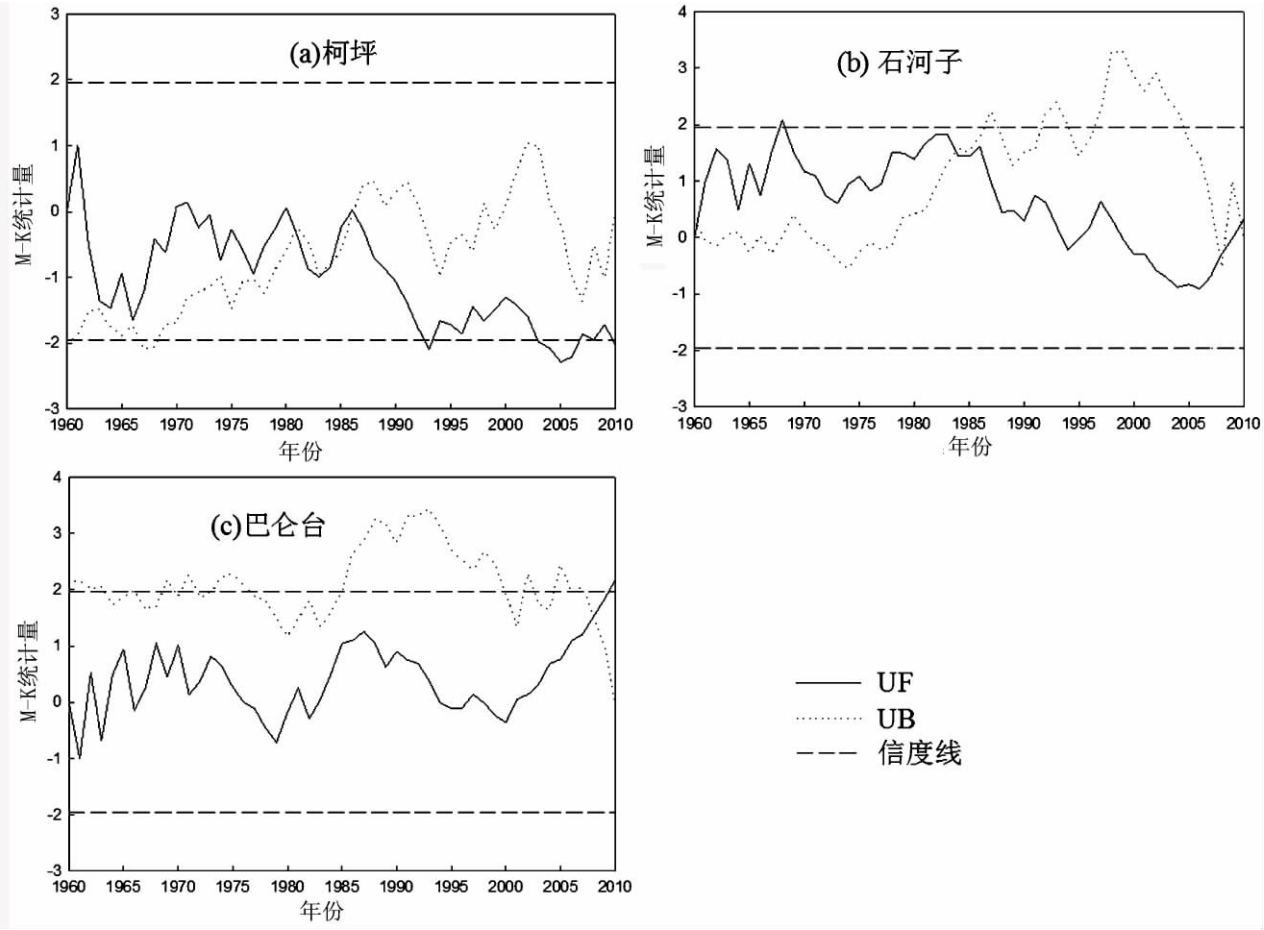

图7 1960－2010 年新疆各分区代表站 S 干旱指数突变点 Mann－Kendall 检验

Fig. 7 Mann－Kendall test for sharp point of S drought index at every type representative stations in Xinjiang, 1960－2010

4 讨论

影响干旱变化的因子有很多，如降水、蒸发和气温以及自然环境等方面，这些因子间相互关系比较复杂，虽然近年来人们运用相关影响因子提出了不同的干旱指数，但由于干旱成因及其影响的复杂性，很难找到一个能普遍适用的干旱指数。目前，最常用的干旱指数计算方法就是地表湿润指数[3,15]，该指数由降水量和蒸散量计算而得。实际上，即使是总降水量相同，如果降水在时间分布上不同，干旱状况及其对农作物的生长也会表现出不同程度的影响。已有事实表明，干旱的发生主要是因为长期无雨所致，而降水资料是人们能够迅速获得的气象信息[13]。因此，以降水资料作为基础的 S 干旱指数，不仅所需资料较少、计算简便，而且能够考虑到降水在时间分布上的特点，使用便捷。而且，基于 S 干旱指数的干湿变化情况分析成果丰硕，基础比较雄厚。杨金虎等[11]和陆燕等[13]都利用降水量和无雨日数分析了中国西北夏季干湿特征；庄晓翠等[12]运用暖季月降水量与无雨日数定义了 S 干旱指数，分析了新疆阿勒泰地区干旱变化情况。

干旱是复杂的自然灾害，干旱的频繁发生和长期持续不但对社会经济尤其是农业生产等产生巨大的影响，还会造成水资源短缺、荒漠化加剧、沙尘暴频繁等诸多深远的不利影响。尤其近几十年来，由于全球气候变暖，干旱持续时间延长、影响范围扩大，经济损失严重，生态环境急剧恶化，严重地威胁着人类的生存，引起了人类社会的极大关注，成为当前人类面临的重大环境问题之一。因此，对新疆地区干旱的研究，更能够很好的反应该地区干旱变化的整体情况，也可以进一步了解新疆地区干旱状况的分布和程度、预测其变化趋势，同时为该地区绿洲农业结构调整、生态环境建设、水资源合理利用提供重要的科学依据，并对今后新疆防灾减灾、经济发展决策和西部开发也具有重要意义。

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

5 结论

(1) 对新疆干旱指数进行 EOF 分解表明,新疆干旱指数在空间分布上具有较好的收敛性,主要表现出三种空间分布特征: 即表现出全区一致型、新疆北部和南部反向分布型和新疆东部和西部反向分布型。

(2) 根据 REOF 前四个旋转荷载向量场高载荷区分布,将新疆干旱指数分成四个区,即新疆北部地区、新疆南部地区、天山中西部地区和天山东部地区; 各分区代表站分别为阿勒泰、柯坪、石河子和巴仑台。

(3) 新疆北部地区和天山中西部地区干旱指数都是呈先减小后增大的趋势; 新疆南部地区干旱指数有减小的总趋势; 而天山东部地区干旱指数则一直在增大。

(4) 各代表站干旱指数在整个时间列中存在着长短不同的周期振荡,且不同的时间尺度所反映干旱指数的偏大和偏小结构不同。大部分代表站干旱指数在发生了明显的突变现象($P < 0.05$) ,但突变年份不尽相同,以柯坪发生突变的时间最早。

参考文献

[1] IPCC. Summary for Policymakers of Climate Change 2007: The physical science basis [C] / / Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press: 2007.

[2] 傅玮东,姚艳丽,陈洪武. 北疆北部地区春季地表湿润状况特征分析 [J]. 中国农业气象, 2009, 30(增 2) : 223 - 226.

[3] 普宗朝,张山清. 1961 - 2008 年新疆夏半年干湿气候时空变化 [J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(9) : 138 - 144.

[4] 施雅风,沈永平,李栋梁,等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨 [J]. 第四纪研究, 2003, 23(2) : 152 - 163.

[5] 蒋艳,夏军. 塔里木河流域径流变化特征及其对气候变化的响应 [J]. 资源科学, 2007, 29(3) : 45 - 52.

[6] 辛渝,毛炜峄,李元鹏,等. 新疆不同季节降水气候分区及变化趋势 [J]. 中国沙漠, 2009, 29(5) : 948 - 959.

[7] 杨莲梅. 新疆极端降水的气候变化 [J]. 地理学报, 2003, 58(4) : 577 - 583.

[8] 普宗朝,张山清,王胜兰,等. 近 48a 新疆干湿气候时空变化特征 [J]. 中国沙漠, 2011, 31(6) : 1563 - 1572.

[9] 邢文渊,马雷凯,肖继东,等. 北疆地区地表湿润指数变化分析 [J]. 沙漠与绿洲气象, 2009, 3(4) :9 - 12.

[10] 邢文渊,刘志军,肖继东,等. 南疆地区地表湿润指数变化分析 [J]. 新疆师范大学学报(自然科学版) , 2009, 28(3) : 4 - 7.

[11] 杨金虎,杨启国,姚玉璧,等. 中国西北夏季干旱指数研究 [J]. 资源科学, 2006, 28(3) : 17 - 22.

[12] 庄晓翠,赵正波,杨森,等. 新疆阿勒泰地区暖季 S 干旱指数变化特征分析 [J]. 中国农业气象, 2011, 32(3) : 444 - 450.

[13] 陆燕,焦海军,陆建国,等. 中国西北夏季干湿特征分析 [J]. 山西气象, 2007(2) : 15 - 17.

[14] Gerald R. North, Thomas L. Bell, Robert F. Cahalan. Sampling Errors in the Estimation of Empirical Orthogonal Functions [J]. Month Weather Review, 1982, 110(7) : 699 - 706.

[15] 张天峰,王劲松,郭江勇. 西北地区秋季干旱指数的变化特征 [J]. 干旱区研究, 2007, 24(1) : 87 - 82.

Study on the drought index variation for Xinjiang in recent 51 years

PAN Shukun, ZHANG Mingjun, WANG Baolong, LI Xiaofei

(College of Geography and Environment Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, P. R. China)

Abstract: Based on the date of monthly precipitation and the number of rainless day at the 52 meteorological stations from 1960 to 2010 in Xinjiang, the S drought index is defined and the methods of EOF, REOF, inverse distance weighted, Morlet wavelet analysis, Mann - Kendall analysis, distribution function are employed to analyze the spatial and temporal variability of drought index. The results are as follows: The drought index presented three main patterns, that was the whole region consistent - type, the north - south opposite - type and east - west opposite - type. In addition, we divided Xinjiang into 4 different parts by drought index according to the high load area distribution of the first 4 revolving load vector fields, that was the North Area in Xinjiang, the South Area in Xinjiang, the Central and West Area in Tianshan and the East Area in Tianshan. Drought index increased in the North Area in Xinjiang, the Central and West Area in Tianshan and the East Area in Tianshan while it decreases in the South Area in Xinjiang.

Key words: Xinjiang; the number of rainless day; drought index; EOF; REOF

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net