

文章编号: 1008-2786-(2016)6-679-11

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000174

全球气候指数与天山地区气温变化遥相关分析

刘友存¹ 侯兰功^{2*} 焦克勤³ 韩添丁³ 李元寿⁴ 叶柏生³

(1. 江西理工大学资源与环境工程学院, 赣州 341000; 2. 西南科技大学土木工程与建筑学院, 绵阳 621010;
3. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000; 4. 中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘 要: 依据天山地区 40 个气象站点的实测气温资料和同期的全球气候指数, 运用线性倾向估计和相关分析方法, 分析近 63 年来天山地区气温变化特征及其对全球气候变化的响应。初步得到以下结论: 天山地区平均升温幅度为 $0.306\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$; 南亚季风指数(SASMI)是影响天山地区气温变化的主要气候指数, 春季 SASMI 与四季的气温均呈现正相关; 夏季 SASMI 与春季气温呈现负相关, 而与夏季气温呈现正、负两种相关; 冬季 SASMI 与夏、秋、冬季气温均呈现正相关, 说明春、冬 SASMI 对四季的升温均有一定影响。太平洋 10 年涛动(PDO)是影响天山气温变化的另一较为主要气候指数, 夏季 PDO 与夏季气温呈现负相关, 与冬季气温呈现正相关; 秋季 PDO 与夏秋季气温均呈现负相关。夏季北大西洋涛动(NAO)与春季气温呈现负相关, 与夏季气温呈现正负两种相关; 夏冬季太平洋北美涛动(PNAO)与冬季气温呈现正相关, 秋季印度洋偶极子(IOD)与春季气温呈现正相关。此外, 上述气候指数对气温变化的影响, 在空间上存在一定的差异性。

关键词: 气候变化; 气候指数; 气温; 天山

中图分类号: P333.1

文献标志码: A

全球气候变暖已成为社会各界共识, 过去 130 多年来全球地表平均增温 $0.85\text{ }^{\circ}\text{C}$, 而中国 1951—2009 年的地表平均增温 $1.38\text{ }^{\circ}\text{C}$, 远高于全球和北半球同期平均增温速率^[1-3]。但由于气候背景、区域特征和气候驱动力等因素的差异, 不同区域对全球变暖响应的幅度和时空特征等也表现出明显的地域性差异^[4-6]。天山地区作为全球气候变化研究的热点地区^[7-8], 其气温变化除受局地气候系统影响外, 还与全球气候系统紧密联系, 该地区气温对全球气候变化的响应研究受到了人们的极大关注^[9-15]。

由于天山山区远离人类活动密集区, 气象观测受城市化的干扰较弱, 其气温变化能够较好地反映全球气候背景下的区域响应^[16], 因而成为研究干旱

区气候变化与区域适应性的重要区域^[17]。

近年来有关天山地区气温变化的大量研究结果表明: 该地区气温呈波动性上升, 且冬季增温幅度较大^[16, 18-21]。这些研究成果相互验证了天山地区过去几十年来持续增温的事实, 对后续工作具有重要的参考价值。本文以天山地区 40 个气象站近 63 年来(1951-01—2013-12)的逐月平均气温资料为基础, 运用多种气候指数, 重点分析天山及周边地区气温的时空变化特征, 进而探讨不同季节的气温变化对气候指数变化的响应特征以及二者的遥相关关系, 为进一步开展全球变化对天山地区气候的影响机理研究提供基础工作和科学依据, 并为制定气候变化应对策略等提供参考。

收稿日期(Received date): 2016-01-09; 修回日期(Accepted): 2016-05-21。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(41471001, 41271035); 国家留学基金委公派访问学者项目(201408120025); 四川省教育厅自然科学基金项目(15ZA0123) [National Nature Science Foundation of China (41471001, 41271035); National Scholarship Foundation of China (201408120025) and Natural Science Project of Department of Education in Sichuan province (15ZA0123)]

作者简介(Biography): 刘友存(1977-), 男, 河北迁安人, 博士, 主要从事水文水资源等方面的研究工作 [Liu Youcun, male, Ph.D., mainly engaged in hydrology and water resource research] E-mail: liuyoucun@gmail.com

* 通信作者(Corresponding author): 侯兰功(1979-), 男, 安徽淮南人, 博士, 副教授, 主要从事水文水资源等方面的研究工作 [Hou Langong, male, Ph.D. associate professor, mainly engaged in hydrology and water resource research] E-mail: soundskyhl@163.com

1 资料与方法

1.1 资料来源

天山横亘于亚洲腹地,呈纬向分布,是亚洲中部最大的山系^[4]。中国境内的天山横贯于全疆,东西长约 1 700 km,南北宽 250 ~ 350 km,山脊平均海拔高度在 4 000 m 左右,既是南北疆气候的分水岭,也是影响新疆乃至中国中西部地区天气系统和生态环境的重要天然屏障^[22](图 1)。研究主要选取了中国境内的天山山区及其周边地区 40 个气象站点(图 1)自有观测记录以来至 2013 - 12 的气温数据。其数据来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/>)和新疆维吾尔自治区乌鲁木齐气象局。

SASMI (South Asian Summer Monsoon Index) 数据来源于北京师范大学全球变化与地球系统科学研究院李建平教授的个人主页(<http://ljp.gcess.cn/>)及其发表的相关文献^[23-25]; ENSO (El Niño - Southern Oscillation) 和 IOD (Indian Ocean Dipole) 来源于英国气象管理局的哈德利观测中心(<http://www.metoffice.gov.uk/>); PDO (Pacific Decadal Oscillation)、PNAO (Pacific North American Oscillation)、AO (Arctic Oscillation)、NAO (North Atlantic Oscillation) 来源于美国海洋和大气管理局下属的气候预测中心(CPC)网站(<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>)。所有数据的时间序列均为 1951 - 01—2013 - 12。

1.2 研究方法

基于 1951 - 01—2013 - 12 数值序列,用线性回归分析方法计算年变率;再用相关月值换算为季节值(月值换算为季节值的时间对应关系为:春季 3—5 月,夏季 6—8 月,秋季 9—11 月,冬季 12 月至翌年 2 月)。获得研究指标的季节数值序列后,用线性回归分析方法计算年变率。

运用皮尔逊相关分析法分别对各站季节平均气温与季节平均气候指数进行相关分析,计算公式为^[26]

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

式中 r 为要素 X 与 Y 之间的相关系数; X_i 、 Y_i 分别为不同季节第 i 年的气温和气候模式指数; \bar{X} 和 \bar{Y} 分别为研究时段多年平均气温和气候指数。通过对比单个气候指数在不同气象站点的相关系数,从而判断该气候指数在不同区域的影响程度。而相关系数显著性检验采用 t 检验法^[27]。

2 结果与分析

2.1 季节气温的时空变化特征

依据 40 个气象站点实测资料估算,60 多年来天山地区年均气温为 7.88℃,其变化率为 0.306℃/10a,远高于全球和中国最近 60 a 的升温幅度,前者为 0.13℃/10a,后者为 0.23℃/10a^[1]。由于受太阳辐射、大气环流、海拔高差和局地气候的影响,天山地区气温变化表现出了明显的时空差异性,从天山

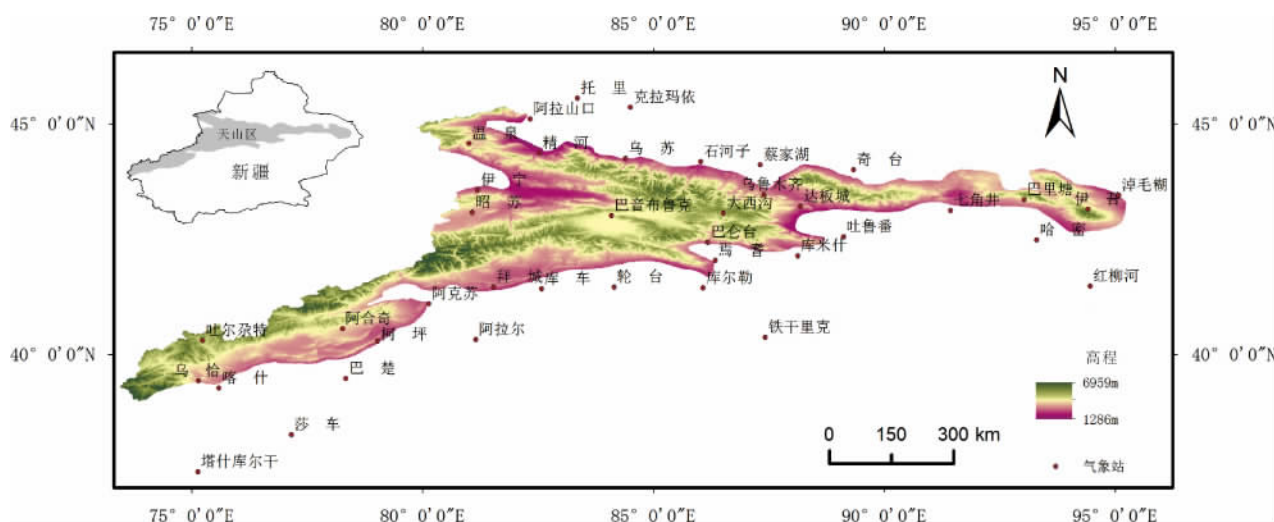


图 1 天山地区地形及气象站点分布图

Fig. 1 Location of Tianshan Mountain regions and the distribution of meteorological stations

地区沿经度方向各站点的气温变化特征图(图2)可以看出:1. 冬季增温幅度最大,平均增温幅度为 $0.353^{\circ}\text{C}/10\text{a}$;其中,20个站点的升温趋势在 $0.2\sim 0.4^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,15个站点在 $0.4^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。但是,东天山的淖毛湖站和西天山到帕米尔高原的吐尔尕特站冬季气温出现了负增长。2. 秋季增温幅度低于冬季,平均变化率为 $0.341^{\circ}\text{C}/10\text{a}$;其中,除库车和阿拉尔2站点负增长外,其它38个站点均呈现增温趋势,且其中4个站点的升温趋势在 $0\sim 0.2^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,21个站点在 $0.2\sim 0.4^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,13个站点 $>0.4^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,最高的七角井站点为 $0.79^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。3. 春季升温幅度低于秋季,平均增温幅度为 $0.331^{\circ}\text{C}/10\text{a}$;其中,28个站点的升温趋势为 $0.2\sim 0.4^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,7个站点在 $0.4^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 以上,淖毛湖站的春季升温幅度超过 $1.1^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 而呈现降温趋势的站点仅有1个。4. 夏季升温幅度最小,平均增温幅度为 $0.199^{\circ}\text{C}/10\text{a}$;局部地区有6个站点出现了负增长,15个站点在 $0\sim 0.2^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,14个站点在 $0.2\sim 0.4^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,而5个站

点在 $0.4^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 以上。处于负增长的站点多分布于中高山区,1980年代以来,该地区降水增加导致气温有所下降所致。当然还可能有一些特殊原因,这也将是下一步注重分析之处。5. 除库车站外,年均气温均呈现增加趋势,但增温幅度波动较小。气温变化趋势在 $0.2\sim 0.4^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的站点占到70%,7个站点 $>0.4^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,而 $0\sim 0.2^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的站点仅有4个。即过去60多年来天山地区升温在 $1.4\sim 1.8^{\circ}\text{C}$,远高于全国陆地1951—2009年升温 1.38°C 的平均水平。6. 受纬度、海拔高度、地形等因素的影响,年均气温在天山地区的空间分布极不均衡,不同站点的年均气温相差超过 20°C ,其中3个高山站点的年均气温在 0°C 以下,23个站点在 $0\sim 10^{\circ}\text{C}$,14个中低山区站点在 10°C 以上。

2.2 季节气温对气候变化的响应

为了分析全球气候变化对天山地区四季气温变化的影响,尤其是季节性气温变化对全球气候变化响应的滞后性,分别用春、夏、秋、冬四季气温序列与

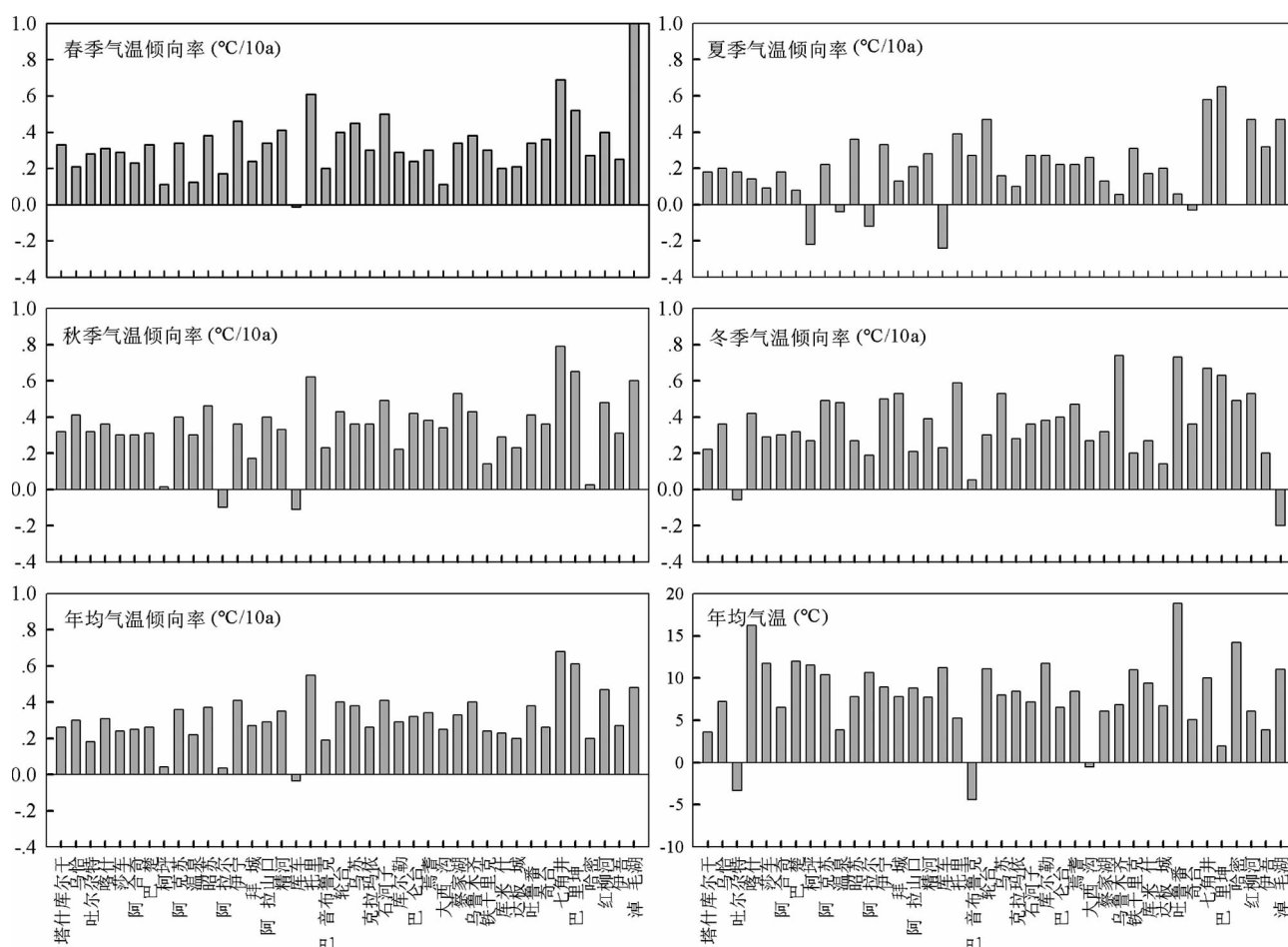


图2 天山地区沿经度各站点的气温变化特征

Fig. 2 Air temperature change feature in Tianshan region along longitude

不同季节的 SASMI、ENSO、PDO、PNAO、AO、IOD 和 NAO 序列之间进行了相关关系分析,并进行了显著性检验(表 1)。

2.2.1 春季气温对不同季节气候变化的响应

从春季分析结果中(表 1)可以看出:春季 SAA-MI 是影响天山地区同期气温的最重要的气候模式指数,二者在局部地区表现为正相关关系(相关系数介于 0.263 ~ 0.524),春季气温受同期 SASMI 指数影响比重为 52.5%,其中 32.5% 的站点通过了 0.01 显著水平的检验,20% 的站点通过了 0.05 显著水平的检验。此外,春季 ENSO、PDO、AO 和 IOD 与同期气温的相关分析仅在极个别站点通过了置信度检验,而 PNA 和 NAO 在所有站点均未通过置信度检验,说明除 SASMI 外,其他 6 种春季气候模式指数对同期的气温的影响非常小。

从图 3 主要气候指数与春季气温的相关关系。可以看出:1. 影响天山地区春季气温变化的气候指数主要为春、夏季的 SASMI,以及夏季的 NAO 和秋季的 IOD,而冬季气候指数与春季气温间的相关关系未通过置信度检验,说明冬季气候指数对春季气温的影响不显著。2. 在西天山腹地和天山南坡中低山区域,春季气温与同期的 SASMI 呈正相关关系;而在天山北坡和高山区,春季气温与同期的 SASMI 的相关性并不显著(图 3a)。3. 在中天山东段、东天山南北坡的大部分区域和西天山南坡的部分区域,春季气温与夏季的 SASMI 呈现为弱负相关,且相关系数较小;而其它区域的夏季 SASMI 对春季气温的影响则不显著(图 3b)。4. 夏季 NAO 是影响天山部分区域(中、西天山南坡的中高山区)春季气温变化的另一因素,二者为弱负相关关系,而在其它区域二者未通过置信度检验(图 3c)。5. 在中、西天山北坡和西天山腹地的伊犁河谷,春季气温与秋季的 IOD 表现为正相关关系,而在其它区域二者亦未通过置信度检验(图 3d)。

2.2.2 夏季气温对不同季节气候变化的响应

从夏季气温与同期气候指数的相关分析(表 1)可以看出:1. 影响天山地区夏季气温的气候模式指数较多,不同区域气温变化对不同气候模式指数变化的响应也不同,这说明天山地区夏季气温变化比较复杂,影响因素也较多;2. 夏季气温受同期 SASMI 指数影响的站点比重为 25%,其中 12.5% 的站点通过了 0.01 显著水平的检验,另外的 12.5% 的站点则通过了 0.05 显著水平的检验;通过显著水平

检验的站点中,SASMI 对气温的影响也表现出截然相反的结果,10% 的站点表现为正相关(相关系数介于 0.346 ~ 0.404),而 15% 的站点表现为负相关(相关系数介于 -0.262 ~ -0.346);3. 夏季气温受同期 PDO 影响的站点比重为 30%,其中 17.5% 的站点通过了 0.01 显著水平的检验,另外的 12.5% 的站点则通过了 0.05 显著水平的检验;二者均表现为负相关关系(相关系数介于 -0.285 ~ -0.401);4. 夏季 NAO 是影响同期气温变化的首要气候指数,受其影响站点比重为 45%,其中 20% 的站点通过了 0.01 显著水平的检验,另外的 25% 的站点则通过了 0.05 显著水平的检验;夏季 NAO 对同期气温的影响也有区域性差异,40% 的表现为负相关(相关系数介于 -0.253 ~ -0.425),5% 表现为正相关(相关系数介于 0.264 ~ 0.313)。此外,夏季 ENSO、PNA 和 AO 与同期气温的相关分析通过置信度检验的站点所占比重分别为 5%、10% 和 2.5%,ENSO 和 PNA 表现为负相关,而 AO 表现为正相关;而夏季 IOD 与同期气温关系均未通过检验。

从图 4 主要气候指数与夏季气温的相关关系看出:1. 影响天山地区夏季气温变化的气候指数主要为春、夏、冬季的 SASMI,以及夏季的 PDO、NAO 和秋季的 PDO,但 SASMI 对夏季气温的影响能力是有限的。其它不同季节的气候指数与夏季气温的相关性未通过或极少站点通过置信度检验。2. 夏季气温与同期的 SASMI 通过置信度检验的区域主要集中在中低山区域。在西天山的部分高山区和南坡区域的 4 个站点,二者表现为正相关;在中天山北坡和东天山南坡中低山区域的 6 个站点,二者表现为负相关,说明在中天山北坡和东天山南坡的低山带,SASMI 指数的增加,在一定程度上抑制了夏季增温;而除上述站点以外的其它区域,二者未通过置信度检验(图 4a)。3. 夏季气温与同期 PDO 表现为负相关,在天山南坡中低山区的 8 个站点通过了置信度检验,说明在该区域夏季气温随同期 PDO 指数的升高而降低。但在天山北坡只有 3 个站点通过了置信度检验,说明夏季 PDO 对夏季气温变化的影响具有较大的局限性(图 4b)。4. 夏季 NAO 是影响中、东天山地区夏季气温变化的主要因素之一。在中天山和东天山地区,尤其是在中高山区,二者表现为负相关。而在西天山南坡部分区域,二者关系既有正相关也有负相关,说明该区域夏季 NAO 对同期气温变化影响较为复杂。而在西天山和中天山西段的

表 1 天山地区不同季节气温与同期气候模式指数的相关关系表

Tab. 1 Correlation coefficient between different climate pattern index and air temperatures in four seasons

台站名称	坐标		春季		夏季				秋季				冬季							
			SASMI		SASMI		PDO		NAO		PDO		PNA		AO		SASMI		PNA	
	经度	纬度	R	p 值	R	p 值	R	p 值	R	p 值	R	p 值	R	p 值	R	p 值	R	p 值	R	p 值
托里	83.60	45.93	0.346	0.008													0.412	0.001	0.365	0.005
克拉玛依	84.85	45.62																		
温泉	81.02	44.97					-0.299	0.027				0.272	0.043				0.441	0.001	0.286	0.033
精河	82.90	44.62			-0.293	0.022			-0.326	0.010	-0.266	0.039							0.328	0.010
乌苏	84.67	44.43																	0.329	0.010
石河子	86.05	44.32																	0.284	0.027
蔡家湖	87.53	44.20			-0.272	0.045			-0.342	0.011	-0.284	0.036								
奇台	89.57	44.02					-0.352	0.005									0.261	0.041	0.294	0.020
伊宁	81.33	43.95	0.333	0.008													0.484	0.000	0.330	0.009
昭苏	81.13	43.15	0.276	0.033													0.397	0.002	0.387	0.002
乌鲁木齐	87.65	43.78			-0.346	0.005	-0.378	0.002									0.369	0.003	0.388	0.002
巴仑台	86.30	42.73	0.323	0.015					-0.305	0.022			0.306	0.022			0.436	0.001		
达坂城	88.32	43.35							-0.293	0.026							0.286	0.031		
七角井	91.73	43.22	0.434	0.000	-0.294	0.021			-0.333	0.009	-0.293	0.032					0.392	0.002		
库米什	88.22	42.23					-0.344	0.010	-0.383	0.004										
巴音布鲁克	84.15	43.03							-0.276	0.044										
焉耆	86.57	42.08	0.301	0.017					-0.253	0.045					0.260	0.040				
吐鲁番	89.20	42.93	0.323	0.010	-0.262	0.039	-0.354	0.005	-0.365	0.004					0.268	0.034				
阿克苏	80.23	41.17	0.397	0.002					-0.255	0.047							0.371	0.003		
拜城	81.90	41.78	0.321	0.017			-0.285	0.035					0.313	0.020	0.275	0.042	0.301	0.026		
轮台	84.25	41.78	0.381	0.004					-0.402	0.002	-0.284	0.036	0.274	0.043						
库车	82.97	41.72					-0.401	0.001												
库尔勒	86.13	41.75	0.281	0.037			-0.341	0.011	-0.425	0.001	-0.312	0.019			0.343	0.010				
吐尔尕特	75.40	40.52	0.433	0.001	0.404	0.002														
乌恰	75.25	39.72	0.422	0.001	0.346	0.008											0.462	0.000	0.259	0.050
喀什	75.98	39.47	0.524	0.000			-0.362	0.004									0.455	0.000		
阿合奇	78.45	40.93	0.370	0.005													0.494	0.00		
阿拉山口	82.57	45.18									-0.265	0.045								
巴楚	78.57	39.80							0.264	0.041							0.353	0.006		
柯坪	79.05	40.50			0.368	0.006			0.313	0.021							0.298	0.028		
阿拉尔	81.27	40.55	0.276	0.041											0.276	0.042				
铁干里克	87.70	40.63	0.263	0.048			-0.287	0.031	-0.358	0.006	-0.267	0.045			0.285	0.032	0.285	0.032		
塔什库尔干	75.23	37.77	0.430	0.001	0.387	0.003														
莎车	77.27	38.43	0.435	0.001			-0.298	0.021												
巴里塘	93.05	43.60	0.341	0.009					-0.339	0.010	-0.277	0.037					0.367	0.005		
淖毛湖	95.13	43.77																		
伊吾	94.70	43.27							-0.330	0.019							0.359	0.010		
哈密	93.52	42.67	0.276	0.029			-0.355	0.005					0.285	0.041						
红柳河	94.67	41.53			-0.280	0.029									0.280	0.027	0.278	0.030	0.261	0.043
大西沟	86.67	43.12							-0.350	0.011							0.466	0.000		

大部分中低山区域,二者未通过置信度检验(图4c)。5. 在天山的绝大部分中高山区和南坡的低山区,夏季气温与春季 SASMI 呈现显著地正相关,有67.5%的站点通过了置信度检验。在中、东天山南坡中低山地区的7个站点,二者显示了强正相关,相关系数在0.5以上。在中天山北坡大部分低山区,二者的相关性未通过置信度检验(图4d)。6. 在天山南坡的中、低山区和中天山东段,夏季气温与秋季的 PDO 呈现较为显著地负相关,有57.5%的站点通过了置信度检验。而在中、西天山中高山区和北坡以及伊犁河谷一带,二者未通过置信度检验(图4e)。7. 在中高山区,夏季气温与冬季的 SASMI 呈现为显著地正相关(个别站点呈现强的正相关),有47.5%的站点通过了置信度检验。而在低山区,尤其是天山北坡的低山区二者未通过置信度检验(图4f)。

2.2.3 秋季气温对不同季节气候变化的响应

由秋季气温与同期气候指数的相关分析数据(表1)来看:1. 影响天山地区秋季气温的气候模式主要为 PDO、PNA 和 AO,但不同区域气温变化对不同气候模式指数变化的响应不同,且大部分通过检验的站点只受一种气候模式的影响;2. 秋季气温受同期 PDO 指数影响的站点比重为20%,且通过了0.05显著水平的检验,但没有站点通过0.01显著水平的检验;秋季 PDO 对同期气温的影响表现为负

相关关系(相关系数介于 $-0.265 \sim -0.312$);3. 秋季气温受同期 PNA 指数影响的站点比重为12.5%,但也仅通过了0.05显著水平的检验;二者表现为正相关关系(相关系数介于 $0.274 \sim 0.313$);4. 秋季气温受同期 AO 指数影响的站点比重为17.5%,只有1个站点通过了0.01显著水平的检验(占2.5%),其他为通过0.05显著水平的检验(占15%);二者表现为正相关关系(相关系数介于 $0.276 \sim 0.343$)。此外,秋季 NAO 与同期的气温除阿拉尔站通过检验外,SASMI、ENSO 和 IOD 指数与同期气温的相关关系在所有站点均未通过检验。

从图5主要气候指数与秋季气温的相关关系。看出:1. 影响天山地区秋季气温变化的气候指数主要是春、冬季的 SASMI,但秋季的 PDO 和 AO 对同期气温也存在一定的影响,不同区域气温变化对气候指数的响应亦不同。其它不同季节的气候指数与秋季气温的相关性未通过或很少站点通过置信度检验。2. 在中天山和东天山南北坡中低山的部分区域,秋季气温与同期 PDO 呈现负相关,有8个站点通过了置信度检验。而在西天山和天山中高山区,二者的相关性未通过置信度检验。这说明秋季 PDO 对同期升温具有一定的抑制作用,但其影响存在一定的局限性(图5a)。3. 在中天山和东天山的南缘,秋季气温与同期 AO 呈现正相关,有7个站点通过了置信度检验,说明秋季 AO 对同期中、东天山

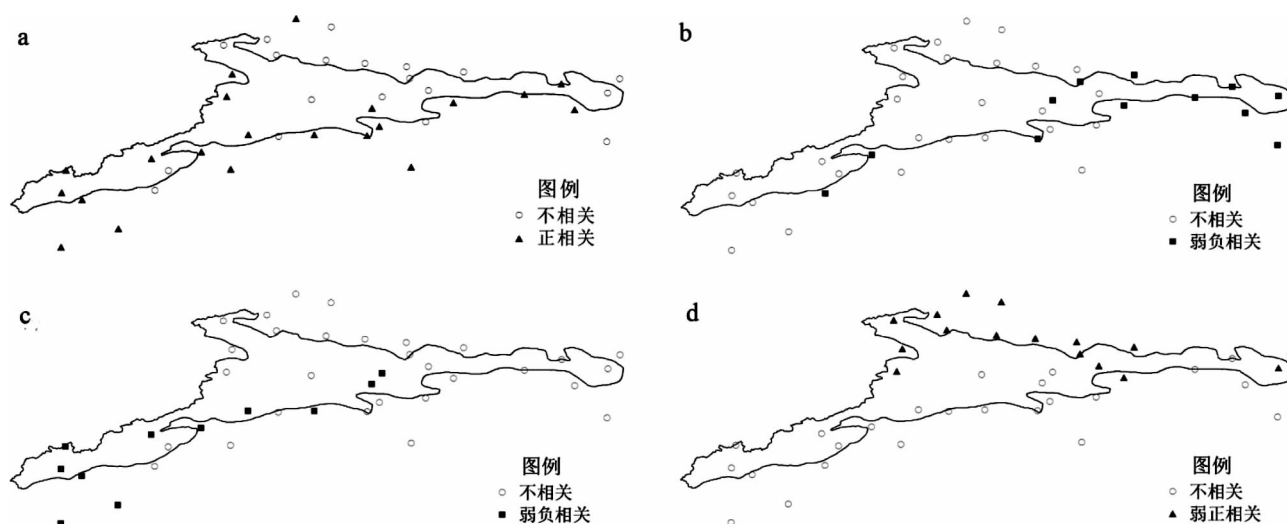


图3 天山地区春季气温与不同季节气候指数的相关关系

(a 为春季气温与春季 SASMI, b 为春季气温与夏季 SASMI, c 为春季气温与夏季 NAO, d 为春季气温与秋季 IOD)

Fig. 3 Spatial distribution of correlation coefficient between spring air temperature and climatic index in different seasons in Tianshan region

(a, SASMI and air temperature in Spring; b, SASMI and air temperature in Summer; c, SASMI and air temperature in Autumn; d, SASMI and air temperature in Winter)

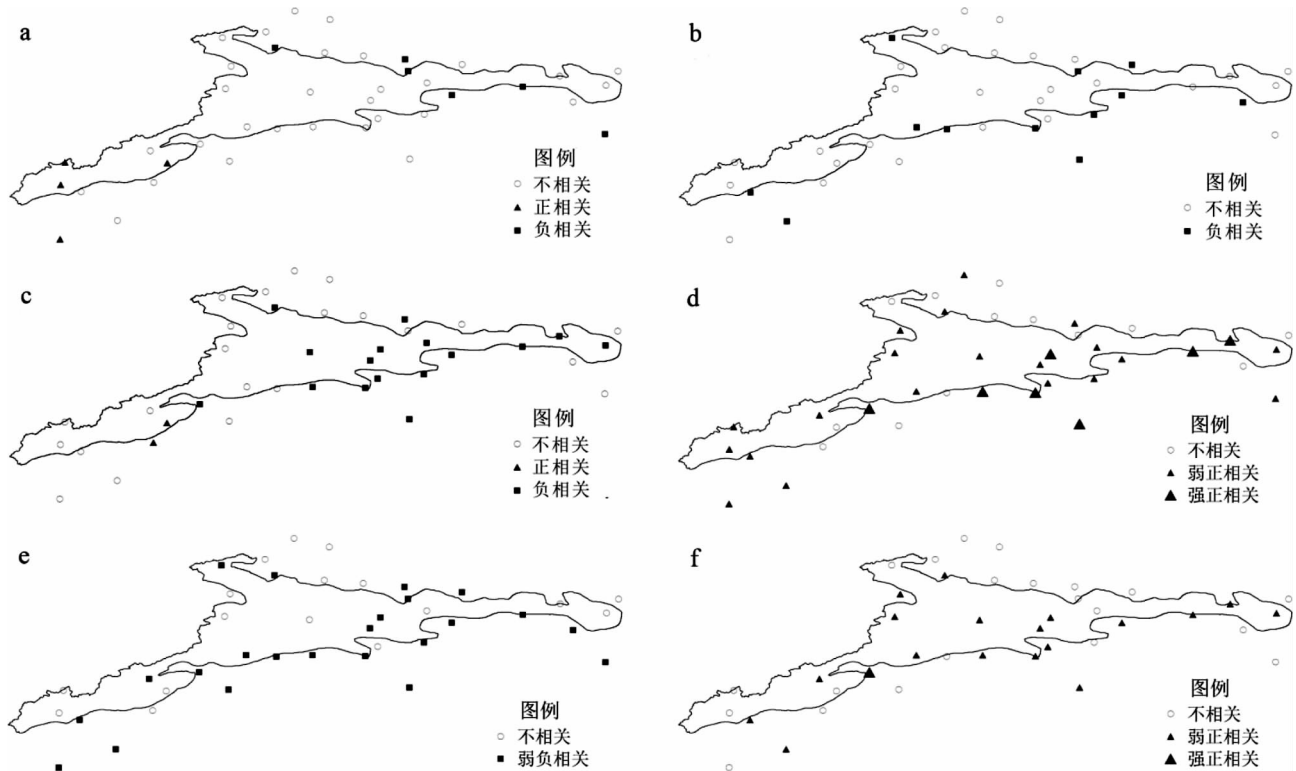


图 4 天山地区夏季气温与不同季节气候指数的相关关系

(a 为夏季气温与夏季 SASMI , b 为夏季气温与夏季 PDO , c 为夏季气温与夏季 NAO , d 为夏季气温与春季 SASMI , e 为夏季气温与秋季 PDO , f 为夏季气温与冬季 SASMI)

Fig. 4 Spatial distribution of correlation coefficient between summer air temperature and climatic index in different seasons
(a , SASMI and air temperature in Spring; b , SASMI and air temperature in Summer; c , SASMI and air temperature in Autumn;
d , SASMI and air temperature in Winter)

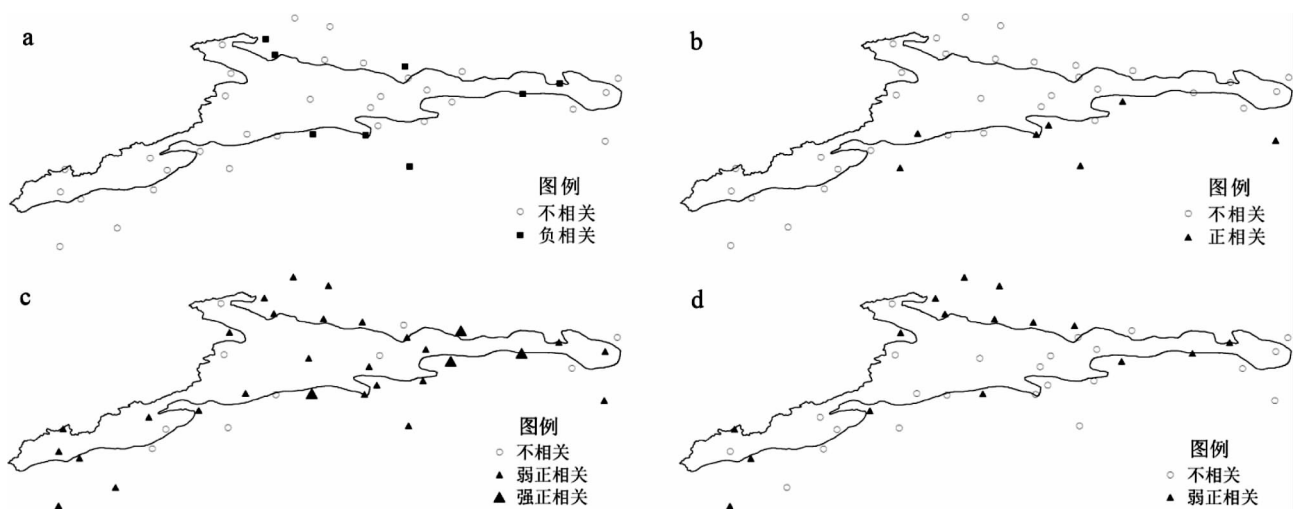


图 5 天山地区秋季气温与不同季节气候指数的相关关系

(a 为秋季气温与秋季 PDO , b 为秋季气温与秋季 AO , c 为秋季气温与春季 SASMI , d 为秋季气温与冬季 SASMI)

Fig. 5 Spatial distribution of correlation coefficient between autumn air temperature and climatic index in different seasons
(a , SASMI and air temperature in Spring; b , SASMI and air temperature in Summer; c , SASMI and air temperature in Autumn;
d , SASMI and air temperature in Winter)

南缘的升温具有一定的促进作用(图 5b)。4. 秋季气温与春季 SASMI 呈现显著地正相关,有 75% 的站点通过了置信度检验,几乎遍布天山地区的绝大部分区域,说明春季 SASMI 对秋季气温的影响具有较好的全局性特征(图 5c)。5. 在中天山北坡中低山区,秋季气温与冬季 SASMI 呈现较为显著地正相关,有 37.5% 的站点通过了置信度检验,而在天山中高山区和南坡大部分区域二者未通过置信度检验(图 5d)。

2.2.4 冬季气温对不同季节气候变化的响应

从冬季气温与同期气候指数的相关分析结果(表 1)中可以看出:①影响天山地区冬季气温的气候模式主要为 SASMI 和 PNA,其他冬季气候模式指数对同期气温变化也有一定的影响,但是强度和影响范围都具有较大的局限性;②冬季气温受同期 SASMI 指数影响的站点比重为 52.5%,其中 37.5% 的站点通过了 0.01 显著水平的检验,另外 15% 的站点则通过了 0.05 显著水平的检验;冬季 SASMI 对同期气温的影响表现为较好的正相关关系(相关系数介于 0.261 ~ 0.484),这说明冬季 SASMI 是影响冬季气温变化的主要因素;③冬季气温受同期 PNA 影响的站点比重为 27.5%,其中 15% 的站点通过了 0.01 显著水平的检验,12.5% 的站点则通过了 0.05 显著水平的检验;在通过检验的站点,二者表现为较好的正相关关系(相关系数介于 0.259 ~ 0.388),这说明局部地区的冬季气温变化也受冬季 PNA 的影响;④冬季 NAO 也是影响冬季气温变化的因素之一,受其影响站点比重为 12.5%,只有 2.5% 的站点通过了 0.01 显著水平的检验,另外的 10% 的站点则通过了 0.05 显著水平的检验;在通过检验的站点,冬季 NAO 与冬季气温也表现为正相关关系(相关系数介于 0.266 ~ 0.337)。此外,冬季 ENSO、PDO、AO 和 IOD 指数与同期气温的相关分析表明,通过置信度检验的站点所占比重分别为 7.5%、5%、2.5% 和 2.5%;在通过检验的站点,冬季气温与以上四种气候模式指数均表现为正相关关系。总之,这些气候模式指数的增加对于天山地区冬季升温都有一定的推动作用,也揭示了天山地区冬季气温变化驱动因素的复杂性和多样性特征。

由图 6 主要气候指数与冬季气温的相关关系可以看出:1. 影响天山地区冬季气温变化的气候指数主要为春、冬季的 SASMI 以及夏、冬季的 PNA 和夏季的 PDO。而冬季气温与秋季气候指数的相关

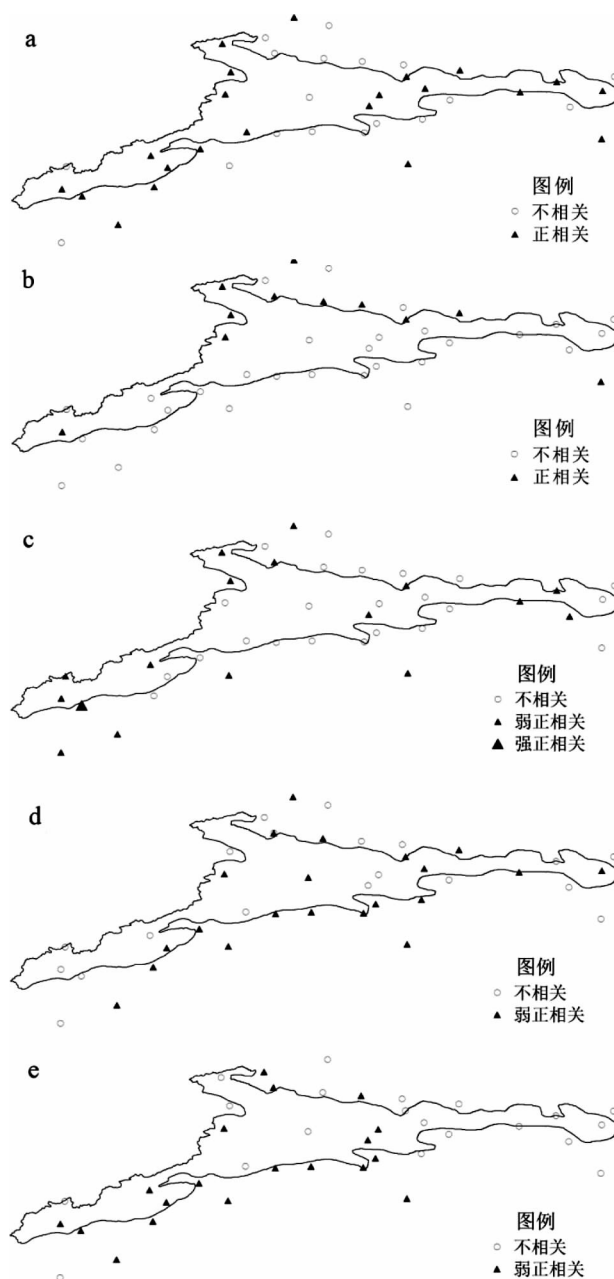


图 6 天山地区冬季气温与不同季节气候指数的相关关系 (a 为冬季气温与冬季 SASMI, b 为冬季气温与冬季 PNA, c 为冬季气温与春季 SASMI, d 为冬季气温与夏季 PDO, e 为冬季气温与夏季 PNA)。

Fig. 6 Spatial distribution of correlation coefficient between winter air temperature and climatic index in different seasons (a, SASMI and air temperature in Spring; b, SASMI and air temperature in Summer; c, SASMI and air temperature in Autumn; d, SASMI and air temperature in Winter)

性未通过或很少站点通过置信度检验,说明秋季气候指数对冬季气温的影响不大。2. 冬季气温与同期的 SASMI 呈现正相关,有 22 个站点通过了置信度检验。冬季 SASMI 对冬季气温的影响区域主要

在西天山(12个站)和东天山(10个站)的中高山区和伊犁河谷一带。这说明冬季 SASMI 指数的增大,对同期天山地区的升温具有明显地促进作用(图 6a)。3. 在中天山北坡的中低山带,冬季气温与同期的 PNA 呈现正相关,有 11 个站点通过了置信度检验。在西天山南坡和东天山南缘的个别站点也通过了显著性检验,说明冬季 PNA 对同期气温的影响主要体现在中天山北坡低山区和伊犁河谷地带,对其它区域同期气温的影响并不显著(图 6b)。4. 冬季气温与春季 SASMI 呈现正相关,有 42.5% 的站点通过了置信度检验,主要分布在西天山,且在西天山南坡的个别站点,二者显示出强的正相关。此外,在中天山东段和东天山分别也有 3 个站点通过了置信度检验。而在西天山东段至东天山西段的大部份区域内,二者未通过置信度检验(图 6c)。5. 冬季气温与夏季的 PDO 呈现较为显著地正相关,有 52.5% 的站点通过了置信度检验,主要分布在西天山东段至东天山西段的大部份区域内的南北坡中高山区和低山区。而在西天山西段和中天山东段北坡的部分区域,二者未通过置信度检验(图 6d)。6. 冬季气温与夏季 PNA 亦呈现正相关,有 47.5% 的站点通过了置信度检验,主要分布在西天山南(图上显示为南坡)坡和中天山南坡中低山区以及天山北坡低山区的部分区域,而在东天山绝大部分区域内二者未通过置信度检验(图 6e)。

3 结论

依据天山地区 40 个气象站点的实测气温资料,结合同期的主要气候指数,运用线性倾向估计和皮尔逊相关分析等方法,对 63 年来天山地区的气温变化特征及其对全球气候变化的响应特征分析,初步得到以下结论:

1. 天山地区多年平均气温为 7.88°C ,平均变化率为 $0.306^{\circ}\text{C}/10\text{a}$;受太阳辐射、海拔高差与纬度等因素影响,升温幅度具有季节性差异,依次为冬季 > 秋季 > 春季 > 夏季。

2. 春、夏季的 SASMI、夏季的 NAO 和秋季的 IOD 是影响春季气温变化的主要气候指数,但存在区域性差异;春季气温、SASMI 与秋季 IOD 呈现正相关,说明上年度秋季 IOD 和春季 SASMI 的升高对春季气温增加具有促进作用;春季气温、SASMI 与和夏季 NAO 呈现负相关,说明上年度的夏季 SASMI

与 NAO 对翌年气温升高具有抑制作用。

3. 春、夏、冬季的 SASMI 和夏季的 NAO 以及夏秋季的 PDO 是影响夏季气温变化的主要气候指数,但存在区域性差异;夏季 SASMI 和 NAO 对同期的气温影响比较复杂,在空间上表现为正、负两种相关;夏、秋季的 PDO 与夏季气温呈现为负相关,说明上一年度夏季和秋季 PDO 对翌年夏季升温具有抑制作用;冬、春季的 SASMI 与夏季气温呈现为正相关,说明冬、春季的 SASMI 对夏季升温具有一定的促进作用。

4. 冬、春季的 SASMI 是影响秋季气温变化的主要气候指数,秋季的 PDO 和 AO 次之,但其影响也存在区域性特征;冬、春季的 SASMI 与秋季气温呈现为显著地正相关,秋季 PDO 与同期气温呈现为负相关,秋季 AO 与同期气温在部分区域呈现为正相关,说明冬、春季节的 SASMI 是影响秋季气温变化的主要因素,很大程度上促使天山地区升温,而秋季气温受同期的 PDO 和 AO 影响具有一定局限性。

5. 冬、春季的 SASMI 和冬、夏季的 PNA 以及夏季的 PDO 是影响天山地区冬季气温的主要气候指数,而且与气温之间均呈现为正相关;而对冬季天山气温的影响依次为冬季 SASMI > 夏季 PDO > 夏季 PNA > 春季 SASMI > 冬季 PNA;除秋季气候指数外,其它季节的气候指数对冬季升温都具有一定的促进作用,这也从侧面解释了天山地区冬季升温幅度最大的原因。

研究虽未涉及全球变化对研究区气温变化的影响机理,但相关成果可以为今后该地区的气候变化机理研究提供工作基础。

参考文献(References)

- [1] IPCC. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (WG1 AR5), Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Summary for Policymakers [R/OL]. [2013-10-28]. http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf
- [2] Chen Y, Deng H, Li B, et al. Abrupt change of temperature and precipitation extremes in the arid region of northwest China [J]. Quaternary International, 2014, 336: 35-43
- [3] 第二次气候变化国家评估报告编写委员会. 第二次气候变化国家评估报告 [M]. 北京: 科学出版社, 2011. [The compilation committee of the second national assessment report on climate change. The second national assessment report on climate change [M]. Beijing: Science Press, 2011.]
- [4] 刘栋杉, 延军平, 李双双. 太阳活动和大气涛动对天山南北气温波动的综合影响 [J]. 资源科学, 2014, 36(3): 502-511

- [Liu Lishan, Yan Junping, Li ShuangShuang. The influence of solar activity and oscillation on temperature changes in south and north Tianshan [J]. Resources Science, 2014, 36(3): 502–511]
- [5] Lisi P J, Schindler D E, Cline T J, et al. Watershed geomorphology and snowmelt control stream thermal sensitivity to air temperature [J]. Geophysical Research Letters, 2015, 42.
- [6] 蓝永超, 胡兴林, 丁宏伟, 等. 河西内陆河流域山区近 50 年来气温变化的多尺度特征和突变分析 [J]. 山地学报, 2014, 32(2): 163–170 [Lan Yongchao, Hu Xinglin, Ding Hongwei, et al. Multiple time scales analysis of jump and variation of air temperature in mountain area of Hexi inland river basin in the past more than 50 years [J]. Mountain Research, 2014, 32(2): 163–170]
- [7] Hong B, Gasse F, Uchida M, et al. Increasing summer rainfall in arid eastern–Central Asia over the past 8500 years [J]. Scientific reports, 2014, 4: 5279.
- [8] 陈亚宁, 李稚, 范煜婷, 等. 西北干旱区气候变化对水文水资源影响研究进展 [J]. 地理学报, 2014, 69(9): 1295–1304 [Chen Yaning, Li Zhi, Fan Yuting, et al. Research progress on the impact of climate change on water resources in the arid region of Northwest China [J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(9): 1295–1304]
- [9] Kutuzov S. Glacier retreat and climatic variability in the eastern Terskey–Alatau, inner Tien Shan between the middle of the 19th century and beginning of the 21st century [J]. Global and Planetary Change, 2009, 69(1/2): 59–70
- [10] Liu Y, Huo X, Liu Y, et al. Analyzing streamflow extremes in the upper Ürtmqi River with the generalized Pareto distribution [J]. Environmental Earth Sciences, 2015, 74(6): 4885–4895
- [11] 蓝永超, 钟英君, 吴素芬, 等. 天山南, 北坡河流出山径流对气候变化的敏感性分析——以开都河与乌鲁木齐河出山径流为例 [J]. 山地学报, 2009, 27(6): 712–718 [Lan Yongchao, Zhong Yingjun, Wu Sufen, et al. Sensitivity of mountain runoff of rivers originated from the south slope and the north slope of the Tianshan Mountain to climate change. Mountain Research, 2009, 27(6): 712–718]
- [12] 魏文寿, 袁玉江, 喻树龙, 等. 中国天山山区 235a 气候变化及降水趋势预测 [J]. 中国沙漠, 2008, 28(5): 803–808 [Wei Wenshou, Yuan Yujiang, Yu Shulong, et al. Climate change in recent 235 years and trend prediction in Tianshan mountainous area [J]. Journal of Desert Research, 2008, 28(5): 803–808]
- [13] 张正勇, 刘琳, 唐湘玲. 1960–2010 年中国天山山区气候变化区域差异及突变特征 [J]. 地理科学进展, 2012, 31(11): 1475–1484 [Zhang Zhengyong, Liu Lin, Tang Xiangling. The regional difference and abrupt events of climatic change in Tianshan mountains during 1960–2010 [J]. Progress in Geography, 2012, 31(11): 1475–1484]
- [14] Liu Y, Lu M, Huo X, et al. A bayesian analysis of generalized pareto distribution of runoff minima [J]. Hydrological Processes, 2016, 30(3): 424–432
- [15] 李成, 王让会, 黄进. 天山北麓近 50 年气温和降水的变化特征 [J]. 水土保持研究, 2013, 20(6): 117–124 [Li Cheng, Wang Ranghai, Huang Jin. Variation characteristics of temperature and precipitation in the north of Tianshan Mountains in recent 50 years [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2013, 20(6): 117–124]
- [16] Chen X, Luo G, Xia J, et al. Ecological response to the climate change on the northern slope of the Tianshan Mountains in Xinjiang [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2005, 48(6): 765–777
- [17] 胡汝驥. 中国天山自然地理 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004: 1–14, 180–198 [Hu Ruji. Physical geography of the Tianshan Mountains in China [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2004: 1–14, 180–198]
- [18] Piao S, Ciais P, Huang Y, et al. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China [J]. Nature, 2010, 467(7311): 43–51
- [19] Ling H, Xu H, Fu J, et al. Analysis of temporal–spatial variation characteristics of extreme air temperature in Xinjiang, China [J]. Quaternary International, 2012, 282: 14–26
- [20] Li L, Bai L, Yao Y, et al. Patterns of climate change in Xinjiang projected by IPCC SRES [J]. Journal of Resources and Ecology, 2013, 4(1): 27–35
- [21] Wang S, Zhang M, Li Z, et al. Glacier area variation and climate change in the Chinese Tianshan Mountains since 1960 [J]. Journal of Geographical Sciences, 2011, 21(2): 263–273
- [22] 魏文寿, 袁玉江, 喻树龙, 等. 中国天山山区 235a 气候变化及降水趋势预测 [J]. 中国沙漠, 2008, 28(5): 803–808 [Wei Wenshou, Yuan Yujiang, Yu Shulong, et al. Climate change in recent 235 years and trend prediction in Tianshan mountainous area [J]. Journal of Desert Research, 2008, 28(5): 803–808]
- [23] Li J P and Zeng Q C. A unified monsoon index. Geophysical Research Letters 2002 29(8) 1274.
- [24] Li J P and Zeng Q C. A new monsoon index and the geographical distribution of the global monsoons. Adv. Atmos. Sci., 2003 20, 299–302
- [25] Li J P and Zeng Q C. A new monsoon index, its inter-annual variability and relation with monsoon precipitation. Climatic and Environmental Research, 2005 10(3): 351–365
- [26] 徐建华. 现代地理学中的数学方法 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002. [Xu Jianhua. Mathematical methods in contemporary geography [M]. Beijing: Higher Education Press, 2002.]
- [27] 刘新平, 魏启恩. 概率论与数理统计 [M]. 西安: 西安出版社, 2002: 20–54 [Liu Xinping, Wei Qien. Probability and mathematical statistics [M]. Xi'an: Xi'an Publishing House, 2002: 20–54]

On the teleconnection patterns to air temperature in the Tianshan Mountain , China

LIU Youcun¹ , HOU Langong^{2*} , JIAO Keqing³ , HAN Tianding³ , LI Yuanshou⁴ , YE Baisheng³

(1. School of Resources and Environmental Engineering , Jiangxi University of Science and Technology , Ganzhou 341000 , China;

2. School of Civil Engineering and Architectural , Southwest University of Science and Technology , Mianyang 621010 , China;

3. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute , Chinese Academy of Sciences , Lanzhou 730000 , China;

4. Chinese Academy of Meteorological Sciences , Beijing 100081)

Abstract: Air temperature variation in Tianshan region and its responses to global climate change are being widely concerned in recent years. In this paper , we used linear tendency estimate and Pearson Correlation Coefficient method to analyze the characteristics of temperature changes in Tianshan Mountain , and to investigate the responses of air temperature variation to global climate change. The data information consists of measured air temperature datasets of 40 meteorological stations over the past 60 years in Tianshan region and global climate indices over the same period. Conclusions of the study are as follows: The average increasing rate of temperature in Tianshan region is 0.306 C/10a , which shows a temporal difference. Firstly , SASMI (South Asian Summer Monsoon Index) is the climate index of the last importance that affects the air temperature in Tianshan Mountain. Spring SASMI has a positive correlation to the temperature of the four seasons , and summer SASMI negatively related to the spring temperature shows the positive and negative correlation to summer temperature , and SASMI in winter is characterized by positive correlation relation with the air temperature in summer , autumn and winter , indicating that SASMI in summer and winter plays a certain role in promoting the four seasons' temperature. Secondly , PDO (Pacific Decadal Oscillation) is the main climatic index that has an effect on Tianshan area temperature changes , and summer PDO expresses a negative relationship with the temperature in summer , while positively correlated to the temperature in winter , and autumn PDO exhibits the negative correlation to the temperature both in summer and autumn. Thirdly , summer NAO (North Atlantic Oscillation) displays a negative correlation to the temperature in spring and reflects positive and negative correlation relationship with the temperature in summer. Fourthly , the PNA (PacificNorth American Oscillation) both in summer and winter are positively related to the winter temperature. And then the autumn IOD (Indian Ocean Dipole) represents a positive correlation to the spring air temperature. In addition , the impacts of all of these climatic indices above on temperature changes have a spatial difference. Having a objectively understanding of the features of modern climatic change in Tianshan Mountain is feasible based on our results. This study provides a scientific basis for further carrying out the impacts of global climate change on the climate of Tianshan Mountain and offers a meaningful reference to developing strategies dealing with climatic variation.

Key words: climate change; climatic index; air temperature; Tianshan Mountain