

中亚地区天气系统特征及其影响分析

姜彩莲¹, 李建刚^{2,3,4,5*}, 陈艳丽⁶, 石江花¹, 李宗达¹

¹新疆生产建设兵团第六师气象局, 新疆 五家渠

²中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 新疆 乌鲁木齐

³新疆空中云水资源开发利用创新研究院, 新疆 乌鲁木齐

⁴新疆云降水物理与云水资源开发实验室, 新疆 乌鲁木齐

⁵西天山云降水物理野外科学观测基地, 新疆 乌鲁木齐

⁶第二师铁门关市农业发展服务中心, 新疆 铁门关

收稿日期: 2025年10月3日; 录用日期: 2025年11月6日; 发布日期: 2025年11月12日

摘要

本文基于天气学理论与现有文献, 系统分析了中亚地区天气系统的关键特征、主导环流形势及其对极端天气的影响机制。研究指出: (1) 中亚地区受大陆性干旱气候控制, 地形复杂多样, 天气系统活跃, 极端天气频发; (2) 影响该地区的主要大气环流可分为阻塞型、经向型、纬向型与两支锋区型四类, 构成各类灾害性天气的环流背景; (3) 低温寒潮、强降水、大风沙尘及强对流等灾害天气主要由乌拉尔大槽、里海—黑海脊、中亚冷涡及地面气旋等系统共同作用触发。研究系统梳理了该区域天气系统的形成机制与活动规律, 为提升天气认识与预报能力提供理论依据。

关键词

中亚地区, 天气系统, 影响, 分析

Analysis of the Characteristics and Impacts of Weather Systems in Central Asia

Cailian Jiang¹, Jiangang Li^{2,3,4,5*}, Yanli Chen⁶, Jianghua Shi¹, Zongda Li¹

¹Meteorological Bureau of the Sixth Division of the Xinjiang Production and Construction Corps, Wujiaqu Xinjiang

²Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi Xinjiang

³Xinjiang Innovation Institute of Cloud Water Resource Development and Utilization, Urumqi Xinjiang

⁴Xinjiang Cloud Precipitation Physics and Cloud Water Resources Development Laboratory, Urumqi Xinjiang

⁵Field Scientific Observation Base of Cloud Precipitation Physics in West Tianshan Mountains, Urumqi Xinjiang

⁶Tiemenguan Agricultural Development Service Center of the Second Division of the Production and Construction Corps, Tiemenguan Xinjiang

*通讯作者。

文章引用: 姜彩莲, 李建刚, 陈艳丽, 石江花, 李宗达. 中亚地区天气系统特征及其影响分析[J]. 气候变化研究快报, 2025, 14(6): 1216-1222. DOI: 10.12677/ccrl.2025.146121

Abstract

Based on synoptic theory and existing literature, this paper systematically analyzes the key characteristics of weather systems in Central Asia, the dominant circulation patterns, and their mechanisms of influence on extreme weather. The study points out that: (1) Central Asia is controlled by a continental arid climate, with complex and diverse terrain, active weather systems, and frequent extreme weather events; (2) The main atmospheric circulations affecting this region can be classified into four types: blocking, meridional, zonal, and two-front zone types, which form the circulation background for various types of disastrous weather; (3) Disastrous weather such as cold waves, heavy precipitation, strong winds, sandstorms, and severe convective storms are mainly triggered by the combined effects of the Ural trough, the Caspian-Black Sea ridge, the Central Asian cold vortex, and surface cyclones. This study systematically reviews the formation mechanisms and activity patterns of weather systems in this region, providing a theoretical basis for improving weather understanding and forecasting capabilities.

Keywords

Central Asia, Weather Systems, Impact, Analysis

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

中亚地区(主要指哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、乌兹别克斯坦和土库曼斯坦)地处欧亚大陆腹地(北纬 35°~55°, 东经 50°~80°), 总面积约 400 万平方公里[1]。该地区地形复杂多样, 东部为天山山脉和帕米尔-阿赖山系, 海拔可达 7000 米以上; 中部以图兰低地为主; 西部为里海沿岸低地; 北部为哈萨克丘陵。这种复杂的地形格局使得中亚地区生态环境极其脆弱, 对气候变化响应敏感(见图 1)。

中亚地区主要以温带大陆性干旱和半干旱气候为主, 具有降水稀少、蒸发强烈、气温年较差和日较差大等典型特征。年平均降水量分布极不均匀, 山区可达 1000 毫米以上, 而平原和沙漠地区不足 100 毫米[2]。在全球变暖背景下, 中亚地区近年来呈现出明显的暖湿化趋势, 气温上升速率高于全球平均水平, 降水格局也发生显著变化[3]。这种气候变化导致短时强降水、雷暴大风、冰雹、高温干旱、寒潮、暴雪等极端天气气候事件发生频率增加、强度增强[4]。

极端天气事件对中亚地区社会经济和生态环境造成了严重影响。在农业方面, 干旱和高温导致作物减产、牧场退化[5]-[8]; 在水资源方面, 冰川加速消融和降水格局改变影响了河流径流量和水资源供应[9][10]; 在基础设施方面, 暴雨和洪水常常破坏道路、桥梁和居民点[11]-[13]。此外, 中亚地区的天气系统还会向下游的中国新疆地区传播, 对中国西北地区的气候产生重要影响[14]-[17]。

随着“一带一路”倡议的深入推进, 中亚地区在能源、交通、经贸等领域与中国的合作日益紧密。准确理解和预报中亚地区的天气系统, 对于保障跨境基础设施安全、促进区域经济合作、应对气候变化挑战具有重要的战略意义。本文基于天气学理论和现有研究成果, 通过深入分析影响中亚天气变化的基本气象因子、大气环流分型及主要天气系统, 并初步探讨极端天气的形成机制, 旨在深入地揭示中亚地区天气系统的关键特征、演变规律及影响机制, 提高天气预报准确性和气候预测可靠性, 为区域可持续发展提供科学支撑。

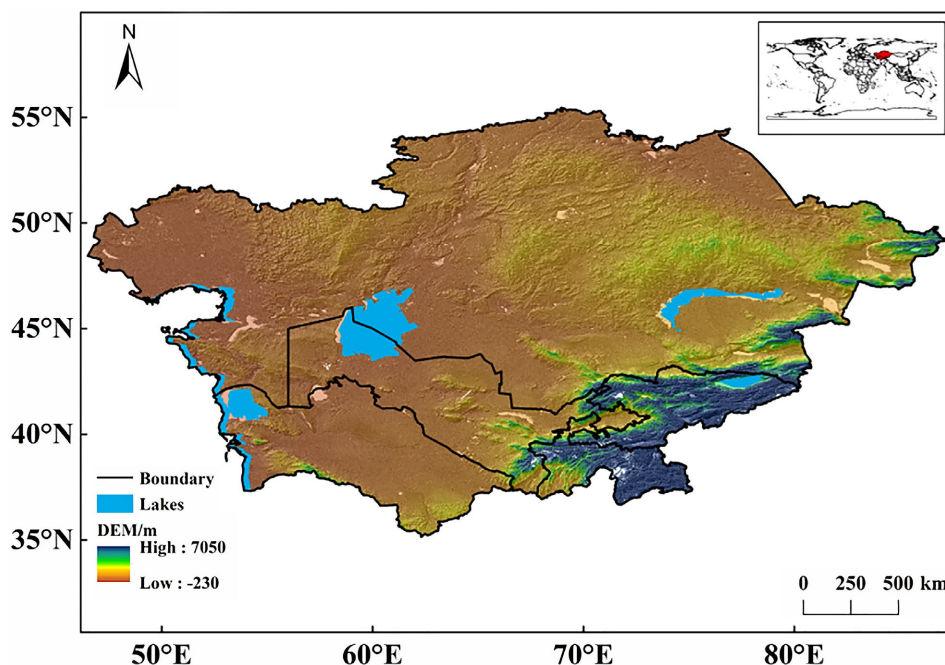


Figure 1. Topographic map of Central Asia
图 1. 中亚地区地形分布

2. 研究方法

本研究主要采用天气动力学方法，系统分析影响中亚地区的主要天气系统的结构特征、演变过程及其相互作用机制，揭示天气系统发生发展的动力机制。结合地形深入探讨中亚复杂地形对大气环流的强迫作用，包括地形抬升对降水的增强效应、地形绕流对系统路径的影响、以及山地-平原热力差异引发的局地环流等，旨在全面梳理和揭示中亚地区天气系统的关键特征、形成机制及其影响。研究过程注重天气学原理与区域气候背景的结合，强调对天气系统演变过程的动力与热力机制分析。

3. 结果与分析

3.1. 影响天气变化的基本因子

3.1.1. 气候背景特征

中亚地区天气变化深受其大陆性干旱气候背景的控制。该地区气温年较差极大，大部分地区可达 $35^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，日较差也常常超过 15°C 。降水分布极不均匀，呈现明显的东南-西北梯度。降水季节分配也极不均匀，山区冬春季以降雪为主，平原地区降水多集中在春季和初夏，这主要与此时气旋活动较为频繁有关。

在全球变暖背景下，中亚地区气候正在发生显著变化。近几十年来，该地区平均气温明显上升，降水格局也发生相应变化。西北部地区降水略有增加，而南部和东部山区降水变化趋势不明显，但极端降水事件的频率和强度都有所增加[18][19]。这种气候变化背景直接影响了天气系统的活动特征和极端天气事件的发生规律。

3.1.2. 地理因子影响

中亚地区复杂的地理环境对其天气变化产生重要影响。地形方面，东部的帕米尔高原和天山对西风气流产生强迫抬升，导致迎风坡降水显著增加，背风坡则产生焚风效应。中亚东部山区与中西部平原之

间的热力差异形成了局地环流系统,如山谷风和坡风,这些环流进一步影响云和降水的分布。

下垫面状况方面,中亚地区分布着大面积的沙漠和戈壁。这些干燥的下垫面具有较小的热容和反照率,在夏季被强烈加热,形成热低压,加强对流活动;在冬季下垫面则迅速冷却,形成冷高压,促进逆温层的形成。中亚西部的里海和咸海等大型水体对周边地区的气候有调节作用,水的蒸发和凝结减小了温度变幅,增加空气湿度。

地理位置方面,中亚深处内陆,距各大洋都较远,水汽输送困难。但是,极地冷空气可以长驱直入,大西洋和地中海的水汽也可以通过西风气流和南支槽等系统输送到该地区。特殊的地理位置使得中亚成为不同冷暖气团交汇的地区,天气系统活跃。

3.1.3. 天气形势的作用

天气形势是天气变化的直接原因。中亚地区受多种天气系统的影响,包括西风带系统、极地系统和副热带系统。西风带波动是中亚天气最主要的影响系统,其中长波调整往往对应着重要天气过程的发生。极地冷空气活动主要影响冬季和季节转换期的天气,带来大范围的降温 and 降水。副热带系统如副热带高压和南支槽主要影响夏季天气,与高温和降水过程相关。

不同天气系统的配置和相互作用决定了中亚天气的强度和类型。例如,当高空槽与地面气旋配合,且有持续的水汽输送时,往往产生大范围降水天气;当强冷平流与不稳定层结结合时,容易产生强对流天气;当某个地区被持续的下沉气流控制时,则会出现晴热干旱天气。

3.2. 影响中亚的环流分型及主要影响系统

3.2.1. 大气环流分型

根据天气学理论和已有研究成果,影响中亚地区的主要环流形势可划分为阻塞型、经向型、纬向型和两支锋区型四个典型类别,每种类型都有其独特的大气环流配置和天气影响。

阻塞型在中亚地区表现为一脊一槽型分布,其中在中亚西部或乌拉尔山地区为稳定的高压脊或阻塞高压,其中西伯利亚至蒙古国一带为深厚的低压槽区。这种配置使得西风气流发生绕流,环流形势一般非常稳定,通常可持续一周以上。在此形势控制下,中亚地区天气相对稳定,夏季容易形成高温热浪,降水稀少;冬季由于晴空辐射,夜间散热极快,导致严寒天气的出现,易产生持续的雾和霾天气。但有时西南绕流分支可来自较低纬度的暖湿空气向北输送,遇到冷的下垫面或山脉的迎风坡,就会产生持续的阴雨(雪)天气。

经向型为中亚地区大气环流经向度加大,槽脊发展深厚。常见配置为欧洲沿岸或乌拉尔山地区为高压脊,中亚地区为低压槽。经向型环流有利于南北气团的交换,当北方的干冷空气与南方裹挟里海、地中海甚至更远地区的暖湿空气在中亚地区上空交汇时,产生强烈的斜压不稳定,催生出强大的气旋系统,产生剧烈的天气现象。

纬向型与经向型相反,表现为西风气流平直,波动振幅较小,天气系统快速东移。在此型环流下,中亚地区受一系列快速移动的短波槽脊影响,天气变化较快,但单一系统的影响时间较短,天气强度一般不大。

两支锋区型表现为中纬度同时存在两支锋区,北支位于 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$,南支位于 $35^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 。中亚地区通常位于南支锋区上,受南支槽脊活动影响,但有时南北锋区槽脊相位相互叠加时,就会引发大范围降水天气。这种环流型在过渡季节较为常见,天气系统复杂,预报难度较大。

3.2.2. 主要影响系统

影响中亚地区的主要天气系统分为高空和地面,高空天气系统包括乌拉尔大槽、黑海低涡、中亚低

涡及副热带大槽；地面影响系统主要为气旋、冷锋和飑线。

乌拉尔大槽是影响中亚最重要的天气系统之一，尤其在冷季。当乌拉尔大槽发展时，其槽后的西北气流引导极地冷空气南下，造成中亚地区剧烈降温和大风天气；黑海低涡通常位于黑海和里海地区，是一个相对稳定的低值系统。它能够吸引南方的暖湿气流向北输送，为降水提供水汽条件。当黑海低涡东南移动与北方系统结合时，往往在中亚地区产生强降水过程。中亚低涡是在阻塞或经向环流调整过程中，由主槽南段切断形成的冷性低涡。它通常在中亚地区停滞少动，生命期可达一周以上。低涡内部天气相对平静，但其东南部常有短波槽活动并东移，影响下游地区；副热带大槽是副热带西风带中的波动，易出现在夏季，能够将地中海和阿拉伯海的水汽输送到中亚地区，主要影响中亚南部地区。

中亚地区气旋活动频繁，尤其是春季和初夏。气旋多生成于里海、咸海地区 and 天山山麓，然后向东或东北方向移动。气旋带来的天气包括大风、降温和降水；冷锋是中亚地区最常见的天气系统之一，春季的冷锋常常引发沙尘暴，夏季的冷锋则可能触发强对流天气；飑线是一种中尺度的强对流系统，通常沿冷锋前部发展。飑线过境时会产生雷暴、大风、短时强降水，有时还伴有冰雹。

3.3. 极端天气形成的环流背景

3.3.1. 低温寒潮

低温寒潮是中亚地区冬半年最重要的灾害性天气过程之一。根据引发低温寒潮的冷空气路径，可将其分为西北、北方和偏西三种。其中西北路径中的冷空气源自巴伦支海和新地岛地区，经乌拉尔山南部进入中亚。此类冷空气温度极低，但水汽含量较少，主要造成剧烈降温和偏北大风；北方路径的冷空气源自喀拉海和泰梅尔半岛，经西伯利亚平原南下到达中亚。此类冷空气影响范围广，持续时间长，往往造成大范围的降温和降雪天气；西方路径冷空气源自东欧平原，里海和黑海地区为其提供额外水汽。此类冷空气往往与地面气旋配合，带来强降雪或雨转雪天气。

低温寒潮的大尺度环流背景通常是欧洲或乌拉尔地区高压脊的发展东移，脊前西北气流引导冷空气南下。

3.3.2. 强降水

中亚地区的强降水过程可归纳为欧洲沿岸脊发展型、两支锋区汇合型、中亚低涡东移型、副热带大槽东移型以及高空扰动发展型五类典型天气形势。其中，欧洲沿岸脊发展型表现为欧洲沿岸高压脊发展，迫使乌拉尔大槽南伸，槽前西南气流将里海和黑海的水汽输送到中亚地区，产生大范围降水；两支锋区汇合型为北支锋区上的低槽与南支锋区上的低槽在中亚地区汇合，导致气旋强烈发展，产生强降水；中亚低槽(涡)东移型为中亚低槽(涡)东移，其东侧和南侧的偏南气流带来水汽输送，与地形抬升作用结合，产生强降水；副热带大槽东移型为副热带大槽东移，槽前的西南气流将阿拉伯海的水汽输送到中亚南部地区，产生降水；高空扰动发展型表现为在中亚上空的高空锋区上，有短波扰动发展，配合地面加热作用，触发对流性降水。

3.3.3. 大风与沙尘暴

大风天气在中亚地区十分常见，按其成因可分为冷空气大风、气旋性大风、雷暴大风和地形大风。其中，冷空气大风为强冷空气南下时，冷锋后部的气压梯度加大，产生偏北大风；气旋性大风为在发展深厚的气旋周围，尤其是冷锋附近，气压梯度大，产生气旋性大风；雷暴大风是强雷暴云中的下沉气流到达地面向外扩散，产生阵性大风；地形大风为当气流越过山脉时，背风坡可能产生下坡风。

由于中亚地区干旱少雨，下垫面裸露，土质疏松，为沙尘暴提供了丰富的沙源。当大风经过这些地区时，就会卷起沙尘，形成沙尘暴，可见沙尘暴是大风与特定下垫面条件结合的产物。

3.3.4. 强对流天气

强对流天气包括雷暴、短时强降水、冰雹、雷暴大风和龙卷风等，是中亚地区夏季主要的灾害性天气。强对流天气的发生需要丰富的水汽、不稳定层结和触发机制。中亚地区的水汽来源主要来自里海、黑海和当地蒸发。对流不稳定层结主要由夏季太阳辐射强烈、地面加热迅速所致。对流触发机制包括地形抬升、天气系统和边界层辐合线等。

除了上述主要危险天气外，中亚地区还存在其他一些高影响天气，例如高温、大雾、冻雨等，在这里就不一一赘述了。

4. 结论与讨论

4.1. 结论

本研究基于天气学理论与文献综述，系统剖析了中亚地区天气系统的关键特征、主导环流分型及其对极端天气的影响机制，主要结论如下：

(1) 中亚地区大陆性干旱气候背景显著，地形复杂多样(高原、山脉、平原、沙漠交错)，导致该地区天气系统活跃，极端天气事件频发。

(2) 影响中亚地区的主要大气环流形势可归纳为阻塞型、经向型、纬向型和两支锋区型四类。不同环流型对应不同的天气系统配置与演变规律，是预报各类灾害性天气的关键基础。

(3) 主要灾害性天气由特定系统共同引发，强冷空气入侵、强降水、大风沙尘暴及强对流等天气，主要由乌拉尔大槽、里海-黑海脊、中亚低涡及地面气旋等高空与地面系统相互作用所触发。

(4) 低温寒潮、强降水、大风沙尘暴和强对流天气等均有其对应的典型环流配置与影响系统，认识这些背景有助于提高对极端过程的预报能力。

4.2. 讨论

本研究系统梳理了中亚地区天气系统的关键特征、环流分型及其与极端天气的联系，初步构建了该地区天气学分析的概念框架。然而，研究过程中也发现若干值得深入探讨的问题与未来研究方向。

首先，中亚地区气象观测站点分布不均，尤其在广袤平原、沙漠及高山区存在大量空白，高空观测更为稀缺。这导致对天气系统的三维结构、强度变化及中小尺度过程的认识仍较模糊，限制了数值预报模式的初始场精度与预报效果。未来需进一步加强中亚国家的相互合作，提高地区综合气象观测网建设，并积极融合卫星遥感、再分析资料等多元数据，以弥补观测空白，支撑天气系统的精细化研究。其次，中亚地区地形复杂，下垫面类型多样，其与大气之间的能量、水汽交换过程对局地环流和天气系统具有重要影响。当前对沙漠-绿洲环流、山地-平原热力差异引发的局地环流、以及里海等大型水体热力效应等过程的认知仍较初步。加强陆-气相互作用观测试验，发展能够准确刻画复杂下垫面过程的区域模式，是揭示其天气气候效应的关键。再次，在全球变暖的背景下，中亚地区呈现出“暖湿化”趋势，气温上升速率高于全球平均，极端天气事件频次、强度与结构也在发生变化。这些变化如何影响乌拉尔大槽、中亚低涡等关键系统的活动规律、生命周期及强度，以及环流分型的偏好是否会发生转变，是亟待回答的科学问题。需要基于长期观测与高精度气候模式，深入开展气候变化对中亚天气系统影响的过程机理与未来预估研究。

随着“一带一路”建设的深入推进，对中亚地区精准天气预报和气候预测的需求日益迫切。建立中国与中亚各国气象资料共享、技术交流与联合研究的合作机制势在必行。通过共建预报平台、开展联合观测试验、共享预报产品，共同提升中亚地区的灾害性天气预报预警能力和防灾减灾水平，为区域可持续发展提供科技支撑。

基金项目

本文由中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所科技发展基金项目(KJFZ202504)、新疆气象局科技创新发展基金项目(MS202505)及中国气象科学研究院科技发展基金项目(2021KJ034)共同资助。

参考文献

- [1] 胡振华. 中亚与中亚研究[J]. 中央民族大学学报: 哲学社会科学版, 2005, 32(5): 47-53.
- [2] Daloz, A.S. (2023) Climate Change: A Growing Threat for Central Asia. In: Sabyrbekov, R., Overland, I. and Vakulchuk, R., Eds., *Climate Change in Central Asia*, Springer, 15-21. https://doi.org/10.1007/978-3-031-29831-8_2
- [3] Tank, A.M.G.K., Peterson, T.C., Quadir, D.A., Dorji, S., Zou, X., Tang, H., *et al.* (2006) Changes in Daily Temperature and Precipitation Extremes in Central and South Asia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **111**, 709-720. <https://doi.org/10.1029/2005jd006316>
- [4] Fallah, B. and Rostami, M. (2024) Exploring the Impact of the Recent Global Warming on Extreme Weather Events in Central Asia Using the Counterfactual Climate Data ATTRICI V1.1. *Climatic Change*, **177**, Article No. 80. <https://doi.org/10.1007/s10584-024-03743-0>
- [5] Mirzabaev, A. (2013) Impacts of Weather Variability and Climate Change on Agricultural Revenues in Central Asia. *Quarterly Journal of International Agriculture*, **52**, 237-252.
- [6] Mirzabaev, A. and Tsegai, D.W. (2012) Effects of Weather Shocks on Agricultural Commodity Prices in Central Asia. ZEF-Discussion Papers on Development Policy, 171.
- [7] Reyer, C.P.O., Otto, I.M., Adams, S., Albrecht, T., Baarsch, F., Carlsburg, M., *et al.* (2015) Climate Change Impacts in Central Asia and Their Implications for Development. *Regional Environmental Change*, **17**, 1639-1650. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0893-z>
- [8] Sommer, R., Glazirina, M., Yuldashev, T., Otarov, A., Ibraeva, M., Martynova, L., *et al.* (2013) Impact of Climate Change on Wheat Productivity in Central Asia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **178**, 78-99. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.06.011>
- [9] Dai, A. (2012) Increasing Drought under Global Warming in Observations and Models. *Nature Climate Change*, **3**, 52-58. <https://doi.org/10.1038/nclimate1633>
- [10] Malsy, M., Aus der Beek, T., Eisner, S. and Flörke, M. (2012) Climate Change Impacts on Central Asian Water Resources. *Advances in Geosciences*, **32**, 77-83. <https://doi.org/10.5194/adgeo-32-77-2012>
- [11] Lioubimtseva, E., Cole, R., Adams, J.M. and Kapustin, G. (2005) Impacts of Climate and Land-Cover Changes in Arid Lands of Central Asia. *Journal of Arid Environments*, **62**, 285-308. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.11.005>
- [12] Lioubimtseva, E. and Henebry, G.M. (2009) Climate and Environmental Change in Arid Central Asia: Impacts, Vulnerability, and Adaptations. *Journal of Arid Environments*, **73**, 963-977. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.04.022>
- [13] Liu, W., Liu, L. and Gao, J. (2020) Adapting to Climate Change: Gaps and Strategies for Central Asia. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, **25**, 1439-1459. <https://doi.org/10.1007/s11027-020-09929-y>
- [14] Shi, Z., Zhou, P., Li, X., Cheng, H., Sha, Y., Xie, X., *et al.* (2021) Distinct Holocene Precipitation Trends over Arid Central Asia and Linkages to Westerlies and Asian Monsoon. *Quaternary Science Reviews*, **266**, Article ID: 107055. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.107055>
- [15] 段均泽, 等. 中亚阿拉木图与乌鲁木齐寒潮气候变化特征对比分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2018, 12(4): 1-6.
- [16] 李稚等. 中亚地区干旱变化及其影响分析[J]. 地球科学进展, 2022, 37(1): 1-14.
- [17] 任国强, 赵勇. 副热带西风急流与中亚夏季降水的关系[J]. 高原气象, 2022, 41(6): 1425-1434.
- [18] 迪丽努尔·托列吾别克, 李栋梁. 近 115a 中亚干湿气候变化研究[J]. 干旱气象, 2018, 36(2): 185-195.
- [19] 闫昕昀, 等. 泛中亚干旱区气候变化特征分析[J]. 干旱区研究, 2021, 38(1): 1-11.