

Analysis of Water Vapor Characteristics during the Heavy Rains in Yili Area from 2010 to 2017

Ting Bai, Xiaomei Zhu

Yili Meteorological Observatory, Yining Xinjiang
Email: zxm394443923@sina.com

Received: Oct. 15th, 2019; accepted: Oct. 30th, 2019; published: Nov. 6th, 2019

Abstract

Based on the NECP/NCAR reanalysis data, the water vapor characteristics of 30 heavy rains processes in Yili area from 2010 to 2017 are summarized. 700 hPa water vapor flux and wind field, divergence of vapor flux, specific humidity, atmospheric precipitation were analyzed. It is concluded that the heavy rains in yili area are more in the south and east and less in the west, that heavy rains occur more in summer, less in spring and autumn. In the case of heavy rains, the physical indexes of divergence of vapor flux of 700 hPa are $-3 \times 10^{-5} \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, specific humidity of 700 hPa are 6 - 7g/kg, atmospheric precipitation of 700 hPa are 30 kg/m². Water vapor in the heavy rains in Yili originates from the Caspian Sea, Black Sea, Red Sea, Mediterranean Sea, bay of Bengal, Aral Sea, Balkashi Lake and Arabian Sea, the Black Sea and Caspian Sea contribute the most. When the Arabian Sea and the Bay of Bengal are the water vapor sources, whether the atmospheric precipitation up to 60 kg/m² can be used as the prediction index of heavy rains needs to be further verified. There is little difference between systematic heavy rains and regional heavy rains in terms of specific humidity and atmospheric precipitation, but the moisture convergence intensity of systematic heavy rains is obviously higher than that of regional heavy rains.

Keywords

Heavy Rains, Water Vapor Flux, Divergence of Vapor Flux, Specific Humidity, Atmospheric Precipitation

伊犁地区2010~2017年暴雨过程的水汽特征分析

白 婷, 祝小梅

伊犁州气象局, 新疆 伊犁
Email: zxm394443923@sina.com

收稿日期: 2019年10月15日; 录用日期: 2019年10月30日; 发布日期: 2019年11月6日

摘要

利用NECP/NCAR再分析资料,总结了2010~2017年伊犁地区30次暴雨过程的水汽特征,通过分析700 hPa水汽通量及风场、水汽通量散度、比湿、大气可降水量等物理量,得出:伊犁暴雨东南部多,西部少;夏季多,春秋少;出现暴雨时700 hPa水汽通量散度、比湿、大气可降水量等物理量指标分别为 $-3 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $6 \sim 7 \text{ g/kg}$, 30 kg/m^{-2} ;伊犁暴雨的水汽源地有里海、黑海、红海、地中海、孟加拉湾、咸海、巴尔喀什湖、阿拉伯海,其中黑海和里海对伊犁地区暴雨水汽贡献最大。阿拉伯海、孟加拉湾作为水汽源地,大气可降水量达到 60 kg/m^{-2} ,是否可作为暴雨的预报指标有待进一步验证;系统性暴雨和区域性暴雨比湿、大气可降水量等指标差别不大,而系统性暴雨水汽辐合强度明显高于区域性暴雨。

关键词

暴雨, 水汽通量, 水汽通量散度, 比湿, 大气可降水量

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

《中国之暴雨》[1]全面总结了暴雨的气候学、基本形成条件、大尺度环流背景、中尺度系统的活动、造成暴雨的主要天气尺度系统及暴雨的分析和预报方法,至今仍然是气象学者对暴雨进行研究和预报的基础。造成暴雨的水汽条件不容忽视,我国许多气象工作者[2]-[16]运用多种方法研究暴雨过程水汽特征,例如通过分析水汽通量流函数和势函数、计算水汽收支、水汽通量散度定量描述了局地水汽收支特征;利用 HYSPLIT 轨迹模式中 Matrix 方法追踪某一区域内的气团,利用轨迹上气团的比湿大小来表征水汽输送情况;通过对大气可降水量及 GPS 站点观测到的水汽变化情况了解了水汽源地及暴雨发生、发展过程中水汽变化的细节特征,分析水汽通量得到水汽输送情况,分析水汽收支变化进一步得出水汽输送情况;通过分析不同层次的水汽输送通量矢量 Q ,得出水汽收支情况。分析 700、500 hPa 水汽通量演变、垂直水汽积分、水汽通量散度,得出水汽输送路径情况。新疆一些学者对暴雨天气的水汽特征也进行了相关研究,赵克明[13]等通过对 4 次暴雨天气的研究总结出了 2013 年 4 场暴雨天气水汽主源地主要分布在阿拉伯海和孟湾,其次是波斯湾,低层东风急流在南疆西部暴雨过程中作用显著。杨莲梅[8]在新疆水汽研究进展中提出新疆大范围暴雨所需水汽在一定环流条件下,在新疆境外集中,并在合适的环流条件下通过接力输送方式输送到暴雨区并迅速集中,而且提出三条主要水汽输送路径,一支为西风气流和影响系统本身携带的西风水汽输送,另一支为中亚低槽或低涡南伸槽前西南气流携带的偏南水汽输送,这种水汽多来自青藏高原,还有在合适环流配置下阿拉伯海水汽以接力输送方式向新疆西南部地区输送水汽,短时强降水过程则表现为局地水汽快速聚集。对新疆而言,地中海、黑海和里海是春秋水汽源地,大西洋和北冰洋是夏季水汽源地。降水异常偏多则由高、副热带/低纬向中纬中亚区域水汽输送增强而后随西风气流向新疆水汽输送增强所致,其中以副热带/低纬水汽输送增强为主。杨柳[10]针对天山山区开展了水汽精细化特征研究,得出:1) 天山山区地面~100 hPa 每年平均有 $11,504.1 \times 10^8 \text{ t}$ 水汽输入, $11,337.0 \times 10^8 \text{ t}$ 水汽输出,水汽净收支为 $167.1 \times 10^8 \text{ t}$,其中西、北边界为输入,东、南边界为输出,对流层中层水汽输送量最大,低层次之,高层最小。天山山区水

汽总输入量占全新疆水汽输入量的 44.1%。2) 各季节中夏季水汽输送量最大, 春季、秋季相当, 冬季最小, 各季节西边界、北边界均为水汽输入边界, 东边界、南边界均为水汽输出边界。刘晶[9]选取伊犁河谷和天山北坡 2011~2016 年 6~8 月 4 次由西西伯利亚低槽(涡)造成的暴雨天气过程, 利用合成分析法, 结合地基 GPS 大气可降水量资料, 低槽(涡)造成的暴雨天气过程中的大尺度环流场、水汽输送和局地水汽精细变化特征的异同之处。祝小梅[11]通过研究提出伊犁地区暴雨呈增长趋势, 暴雨日多出现在 6、7 月份, 主要集中在河谷南部和东部山区。暴雨作为伊犁地区的重要灾害之一, 其造成的损失也不容忽视, 因此对伊犁地区暴雨形成起到关键作用的水汽研究也显得十分迫切。然而对伊犁河谷的暴雨水汽特征研究还存在空白, 本文将水汽特征作为切入口, 通过对水汽源地, 水汽的输送等特征进行分析, 总结暴雨天气发生的一些气象指标, 以期对暴雨的预报提供一些有价值的参考。通过计算水汽通量、水汽通量散度、比湿、大气可降水量, 分析暴雨过程中水汽输送情况以及局地水汽变化、追踪水汽源地, 总结暴雨的水汽特征。

2. 资料与方法

利用常规地面资料, 从伊犁地区 10 个国家基本站, 2010~2017 年 5~10 月日降水资料中挑出暴雨个例。个例选取标准: 满足伊犁地区十个基准站只要有一站日降水量大于 24 mm, 为一个暴雨个例。

利用 NCEP1° × 1° 一日四次再分析资料计算暴雨发生前后 700 hPa 各格点水汽通量、水汽通量散度、比湿、大气可降水量等物理量, 然后分别统计各物理量特征。

3. 统计特征

3.1. 暴雨日统计特征

通过统计, 十站中西部五站(伊宁市、霍尔果斯、霍城、察县、伊宁县)出现暴雨日相当, 其中伊宁县较多, 为 6 次。而东南部各县(尼勒克、新源、特克斯、昭苏)普遍比西部多, 其中特克斯最多(19 次), 新源 12 次, 昭苏 10 次, 尼勒克 8 次(见图 1)。

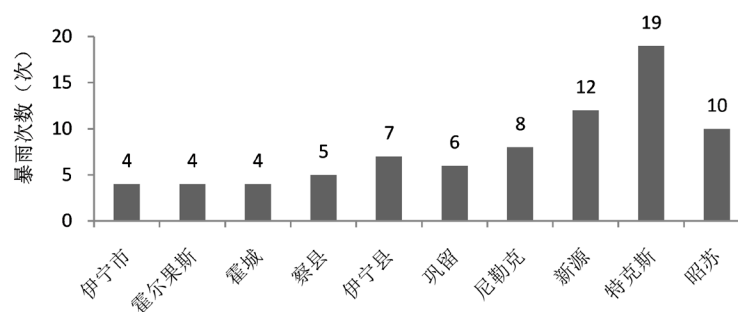


Figure 1. Statistics of heavy rains frequency
图 1. 暴雨次数统计

3.2. 暴雨过程统计特征

文中统计 6 至 8 月暴雨为夏季暴雨, 5 月、9 月、10 月暴雨为春秋季节。夏季暴雨出现 21 次, 春秋季节暴雨仅出现 9 次。累积暴雨量霍城最少, 西部各县平均达到 144.4 mm, 东南部各县平均达到 399.4 mm, 东南部各县平均累积暴雨量高于西部各县 255 mm (见图 2)。

不论暴雨日还是暴雨累积量, 东南部区域普遍多于西部。东南部地区处于喇叭口地形底部且地势普遍高于西部地区, 地形作用有利于加强抬升作用并有利于水汽聚集从而使东南部暴雨多于西部暴雨。

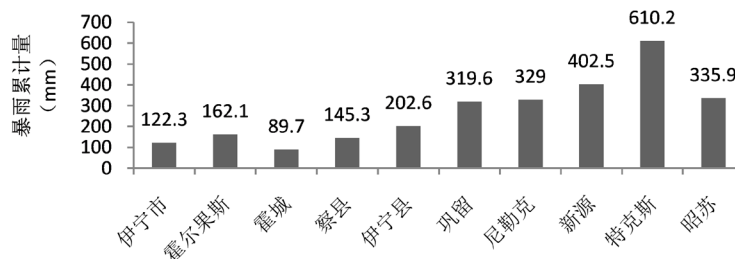


Figure 2. Heavy rains cumulant (mm)

图 2. 暴雨累积量(mm)

3.3. 暴雨分型

三站及三站以上出现暴雨定义为系统性暴雨, 三站以下出现暴雨定义为区域性暴雨。文中还分别对比分析了夏季暴雨和春秋季节暴雨。个例总数为 30 次, 系统性暴雨为 9 次, 区域性暴雨为 21 次。夏季暴雨和春秋季节暴雨分别是 20 次和 10 次。

4. 水汽特征分析

4.1. 700 hPa 水汽通量散度

水汽通量散度可以反映水汽聚集情况, 因此暴雨的强弱与水汽通量散度辐合强度关系密切。

利用 NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 资料计算 30 个个例 700 hPa 水汽通量散度(图 3), 并分析出现暴雨时伊犁区域内水汽通量散度最大辐合中心值的统计特征。可知: 春秋季节出现暴雨的水汽通量散度分布较集中, 而夏季出现暴雨的水汽通量散度较分散, 两季暴雨水汽通量散度中位数均为 $-3 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 因此可将 700 hPa 水汽通量散度值为 $-3 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 作为出现暴雨的指标(图 3(a))。

另外通过对比 700 hPa 系统性暴雨和区域性暴雨水汽通量散度(图 3(b)), 系统性暴雨水汽通量散度整体小于区域性暴雨水汽通量散度, 系统性暴雨水汽通量散度中位数是 $-3 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 较区域性的低 $0.5 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。可见对比系统性和区域性暴雨, 700 hPa 较强的水汽辐合有利于系统性暴雨的出现。

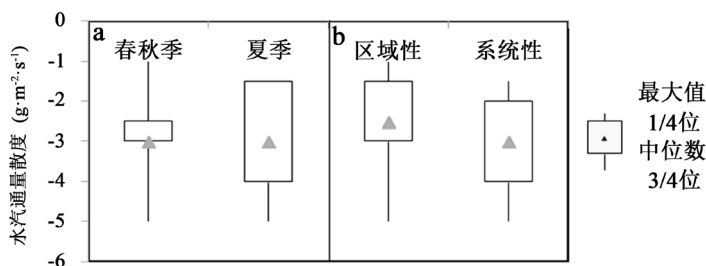


Figure 3. Boxplot of divergence of vapor flux ((a): comparison of heavy rains in spring, autumn and summer; (b): comparison of regional and systematic heavy rains)

图 3. 水汽通量散度箱线图((a): 春秋、夏季对比, (b): 区域性、系统性对比)

4.2. 700 hPa 比湿

比湿, 指在一团湿空气中, 水汽的质量与这团空气总质量(水汽质量加上干空气质量)的比值。本文仅统计 5 至 10 月暴雨的比湿和比湿气候平均态, 文中比湿气候平均态取伊犁地区范围内的区域平均值。比湿气候平均态变化趋势是由 5 月的 3 g/kg 增加到 6、7 月的 4.5 g/kg, 之后减少至 10 月的 1.5 g/kg。暴雨比湿, 文中取伊犁地区暴雨时段内比湿最大值。其变化趋势是从 5 月开始增大, 7 月达到最大, 之后逐

渐减小。就这一点而言, 比湿平均态和暴雨比湿都存在夏多春秋少的特征。区别在于暴雨比湿月变化幅度要小些, 比湿气候平均态最大的7月比最小的10月比湿多3 g/kg (图4)。

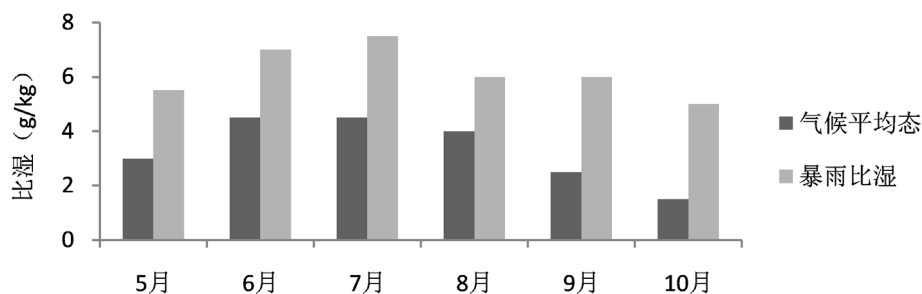


Figure 4. Comparison between the average specific humidity in May and October and the specific humidity in heavy rains
图4. 5~10月比湿平均态与暴雨比湿对比

统计暴雨发生时的比湿(图5(a)), 春秋出现暴雨的比湿普遍小于夏季出现暴雨的比湿, 春秋出现暴雨的比湿集中体现在4~7 g/kg, 中位数为6 g/kg, 夏季出现暴雨的比湿比较分散, 一般在4~10 g/kg, 中位数为7 g/kg。从以上分析可以看出, 伊犁地区比湿达到4 g/kg可能会出现暴雨, 但是产生暴雨不只是水汽条件, 还需要有一定的动力条件以及系统的维持时间, 这一方面的研究将在以后开展[18]。

通过对系统性暴雨和区域性暴雨的比湿对比研究(图5(b)), 系统性暴雨的比湿中位数是6 g/kg, 区域性暴雨的中位数是7 g/kg, 研究表明伊犁地区产生区域性暴雨比湿中位数反而高于系统性暴雨比湿。说明不见得强的比湿条件就会对应出现强度更强范围更广的系统性暴雨, 原因在于暴雨形成的基本条件为充足的水汽、强的上升运动、较长的持续时间, 三者缺一不可, 可见充足的水汽条件并不是暴雨发生的决定性因素。

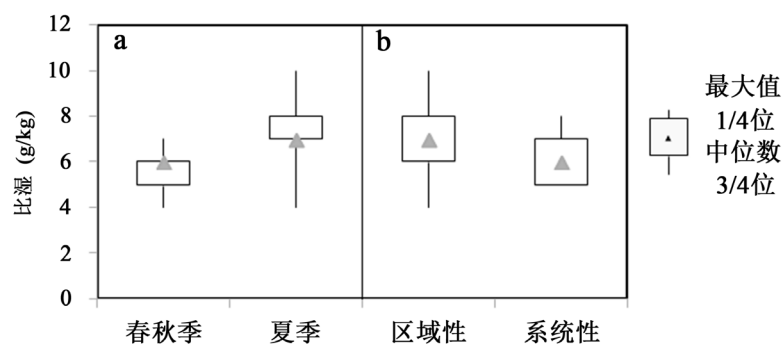


Figure 5. Boxplot of specific humidity ((a): comparison of heavy rains in spring, autumn and summer; (b): comparison of regional and systematic heavy rains)

图5. 比湿箱线图((a): 春秋、夏季对比, (b): 区域性、系统性对比)

4.3. 700 hPa 大气可降水量

空气柱里含有的水汽的总数量称为大气可降水量。杨莲梅[8]提出新疆暴雨所需水汽在一定环流条件下, 在新疆境外集中, 并在合适环流条件下通过接力输送方式输送到暴雨区并迅速集中。因此文中统计暴雨发生前后中亚至伊犁地区700 hPa出现的最大的大气可降水量(图6), 最大值一般出现在暴雨发生之前, 春秋出现暴雨的大气可降水量集中于20~30 kg/m², 中位数为27 kg/m²。而夏季出现暴雨的大气可降水量分散在20~40 kg/m², 中位数为33 kg/m²。系统性暴雨和区域性暴雨大气可降水量中位数均为30 kg/m²。

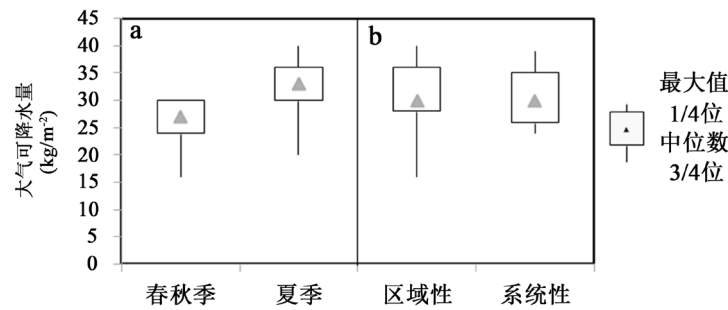


Figure 6. Boxplot of atmospheric precipitation ((a): comparison of heavy rains in spring, autumn and summer; (b): comparison of regional and systematic heavy rains)

图 6. 大气可降水量箱线图((a): 春秋季、夏季对比, (b): 区域性、系统性对比)

5. 水汽源地

有关文献[12]-[17]指出, 新疆的水汽源地是上游的靠近海洋和湖泊的地带, 通过统计洋面的可降水量和水汽通量的大小, 依次选出海洋、湖泊区域定义为影响伊犁地区暴雨的水汽源地。暴雨产生时有时只有一个水汽源地, 有时有多个水汽源地供应水汽, 因此起主要作用的水汽源地为主要源地, 起补充作用的水汽源地为次要源地。对 30 次暴雨个例运用流线跟踪法找出, 里海、黑海、红海、阿拉伯海、孟加拉湾、地中海、巴湖、咸海作为主要水汽源地分别为 14 次、7 次、3 次、2 次、1 次、1 次、1 次、1 次。可以看出里海和黑海作为主要水汽源地最多。值得一提的是阿拉伯海作为主要水汽源地虽然只有两次, 但大气可降水量却分别高达 70 和 $80 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$; 孟湾作为主要水汽源地虽然仅有一次, 但大气可降水量达到 $60 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, 这些低纬水汽源地相对来说水汽更加充足。作为水汽源地的阿拉伯海和孟湾大气可降水量高于 $60 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 作为暴雨预报的一项指标有待进一步验证。地中海、里海、黑海、红海作为次要水汽源地均达到 12 次左右。可以看出, 黑海和里海不论作为主要还是次要水汽源地, 对伊犁地区暴雨水汽贡献都是最大的(图 7)。

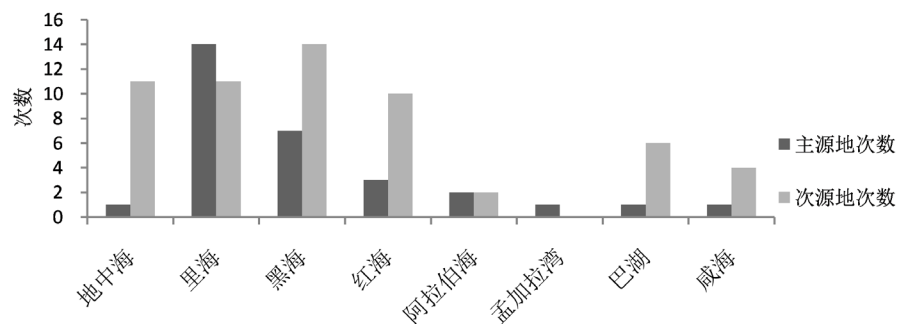


Figure 7. Frequency statistics of each water vapor source

图 7. 各水汽源地次数统计

6. 结论

- 1) 暴雨的空间分布呈现东南部各县(尼勒克、新源、特克斯、昭苏)多, 西部少; 时间分布呈现夏季多, 春秋季少的特点。
- 2) 经对比统计得出, 700 hPa 水汽通量散度值 $-3 \times 10^{-5} \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 可作为出现暴雨的指标。
- 3) 不论是比湿气候平均态还是暴雨比湿, 其变化趋势都是从 5 月开始增大, 6、7 月达到最大, 之后逐渐减小, 区别在于暴雨比湿月变化幅度要小些。统计暴雨发生时的比湿, 春秋季出现暴雨的比湿普遍

小于夏季出现暴雨的比湿, 春秋出现暴雨的比湿集中体现在 4~7 g/kg, 中位数为 6 g/kg, 夏季出现暴雨的比湿分散体现在 4~10 g/kg, 中位数为 7 g/kg, 两个时期的比湿最小值都是 4 g/kg。

4) 春秋出现暴雨的大气可降水量集中于 20~30 kg/m⁻², 中位数为 27 kg/m⁻²。而夏季出现暴雨的大气可降水量分散在 20~40 kg/m⁻², 中位数为 33 kg/m⁻²。

5) 伊犁暴雨的水汽源地有里海、黑海、里海、红海、地中海、孟加拉湾, 其中黑海和里海对伊犁地区暴雨水汽贡献最大。阿拉伯海、孟加拉湾作为水汽源地大气可降水量达到 60 kg/m⁻² 是否可作为暴雨的预报指标有待进一步验证。

6) 系统性暴雨和区域性暴雨比湿、大气可降水量等指标差别不大, 然而系统性暴雨水汽通量散度明显低于区域性水汽通量散度, 也就是说系统性暴雨水汽辐合强度明显高于区域性的。

参考文献

- [1] 陶诗言, 等. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1982: 25-34.
- [2] 孙建华, 汪汇洁, 等. 江淮区域持续性暴雨过程的水汽源地和输送特征[J]. 气象学报, 2016, 74(4): 542-555.
- [3] 王婧羽, 崔春光, 等. 2012年7月21日北京特大暴雨过程的水汽输送特征[J]. 气象, 2014, 40(2): 133-145.
- [4] 周长艳, 唐信英, 等. 一次四川特大暴雨灾害降水特征及水汽来源分析[J]. 高原气象, 2015, 34(6): 1636-1647.
- [5] 张瑜, 汤燕冰, 等. 江淮流域持续性暴雨过程水汽输送状况初析[J]. 浙江大学学报, 2007, 36(4): 470-476.
- [6] 王黎黎. 近50年来东部冷涡暴雨过程动力条件诊断和水汽条件分析[J]. 气象灾害防御, 2014(4): 10-14.
- [7] 陶杰, 陈久康, 等. 江淮梅雨暴雨的水汽源地及其输送通道[J]. 南京气象学院学报, 1994, 17(4): 443-447.
- [8] 杨莲梅. 新疆水汽研究若干进展[J]. 自然灾害学报, 2018, 27(2): 1-13.
- [9] 刘晶, 曾勇等. 伊犁河谷和天山北坡暴雨过程水汽特征分析[J]. 沙漠绿洲与气象, 2017, 11(3): 65-71.
- [10] 杨柳, 杨莲梅, 汤浩, 刘涛, 彭军. 2000-2011年天山山区水汽输送特征[J]. 沙漠绿洲与气象, 2013, 7(3): 21-25.
- [11] 祝小梅, 朱弋. 1961-2009年新疆伊犁地区暴雨日时空变化特征[J]. 气象与环境学报, 2013, 29(5): 63-68.
- [12] 杨莲梅, 张云惠, 汤浩. 2007年7月新疆三次暴雨过程的水汽特征分析[J]. 高原气象, 2012, 31(4): 963-973.
- [13] 赵克明. 2013年南疆西部暴雨天气的水汽特征[J]. 气象科技, 2017, 45(1): 121-129.
- [14] 史玉光, 孙照勃. 新疆水汽输送的气候特征及其变化[J]. 高原气象, 2008, 27(2): 82-91.
- [15] 杨莲梅, 史玉光, 唐浩. 新疆春季降水异常的环流和水汽特征[J]. 高原气象, 2010, 29(6): 1464-1473.
- [16] 刘蕊, 杨青. 新疆大气水汽通量及净收支的计算与分析[J]. 中国沙漠, 2010, 30(5): 1221-1228.
- [17] 张家宝, 邓子风. 新疆降水概论[M]. 北京: 气象出版社, 1987.
- [18] 朱乾根, 林锦瑞. 天气学原理[M]. 北京: 气象出版社, 1987.