

内蒙古夏季干旱的水汽输送特征分析

宋桂英¹ 潘进军² 王德民³ 韩经纬¹ 荀学义¹

(1. 内蒙古自治区气象台, 呼和浩特 010051; 2. 内蒙古自治区气象局,
3. 民航呼和浩特空管中心)

提 要: 对于大气中水汽的定性、定量测量是提高内蒙古干旱研究与预测的有效手段。利用 NCEP 再分析资料和内蒙古地区实测降水资料(1961—2000 年), 定性、定量地分析东亚水汽分布、水汽输送与内蒙古夏季干旱的关系。得出内蒙古地区上空低层大气的含水量偏少是内蒙古夏季干旱的一个重要因素。由于青藏高原大地形作用, 孟加拉湾和南海的水汽北上受阻, 不能达到内蒙古高原是形成内蒙古干旱的又一原因。受大气环流影响, 内蒙古高原水汽辐合偏弱是内蒙古夏季干旱的重要原因。青藏高原的水汽通量与内蒙古东西部降水都存在明显负相关; 孟加拉湾至内蒙古西部是内蒙古西部地区降水的水汽通道, 南海至中国东北地区为内蒙古东部降水的水汽通道。

关键词: 干旱 水汽 降水 水汽通量 相关

Analysis of the Moisture Transportation Characteristics on Summer Drought in Inner Mongolia

Song Guiying¹ Pan Jinjun² Wang Deming³ Han Jingwei¹ Xun Xueyi¹

(1. Inner Mongolia Autonomous Region Meteorological Observatory, Huhhot 010051;
2. Inner Mongolia Meteorological Bureau; 3. Civil Aviation Huhhot Air Management Center)

Abstract: Qualitative and quantitative measurement for atmospheric moisture is an effective means of improving the Inner Mongolia drought study or forecast. Adopting NCEP and observation precipitation data from 1961—2000, the relationship between the moisture distribution or transportation in East Asia and summer drought in Inner Mongolia is analyzed. The results show that Less moisture content at low level is an important factor of Inner Mongolia drought. On the other hand, because of Qingzang plateau terrain, it is difficult that the moisture from the Bay of Bengal and South China Sea move northward, and it could not arrive in Inner Mongolia, which is another key factor. In addition, Affected by air circulation, the less water vapor convergence is

also an important factor of Inner Mongolia drought. The moisture flux at Qingzang plateau has prominently negative correlation with the precipitation of whole Inner Mongolia area. Moisture passage for the precipitation of West Inner Mongolia is from the Bay of Bengal to West Inner Mongolia. The passage for the precipitation of east Inner Mongolia is from South China Sea to northeast China.

Key Words: drought moisture precipitation moisture flux correlation

引 言

人们对气候变化和气候灾害的研究越来越重视,干旱是我国北方地区的主要气候灾害之一。针对华北地区干旱,气象工作者已开展了许多旱涝时空分布特征及干旱成因的研究^[1-3],并得出了一些有益的结论。干旱是内蒙古自治区发生最为频繁,对农牧业生产影响最大的气象灾害^[4]。据内蒙古气象灾害大典^[5],1960—2000 年内蒙古地区发生干旱的年份有 1960、1961、1962、1963、1965、1966、1972、1978、1980、1982、1986、1987、1991、1993、1995、1999、2000 年等 17 年,从干旱程度来讲,则以 1962、1963、1965、1972、1980、1982、1986、1999 年较为严重。对于天气和气候系统的研究,美国天气研究工程计划组^[6]指出:对于大气中水汽的定性、定量测量是提高天气预报及研究各类大气物理过程的一级阶段。因此,以水汽输送为着眼点研究内蒙古夏季干旱,是内蒙古干旱研究的有效途径。

1 内蒙古夏季干旱的空中水汽分布特征

大气中水汽的分布及输送,与大气位势高度场、温度场、风场的物理机制略有不同。研究空中大气相对湿度或水汽输送状况将对大气中的各类物理过程描述产生很大影响。内蒙古降水集中在夏季,夏季干旱与降水量密切相关,而降水量的多寡与大气环流有直

接关系。大气环流和天气形势对一个地区降水的影响还应取决于这个地区上空低层水汽平均分布状况。

依据气象灾害大典,内蒙古历史上最严重的夏季干旱年份有 1962、1963、1965、1972、1980、1982、1986、1999 年,以 7 月份为代表,利用 NCEP 资料,分析内蒙古夏季干旱年份北半球整层大气(1000hPa~300hPa)的平均水汽分布状况,(如图 1)。

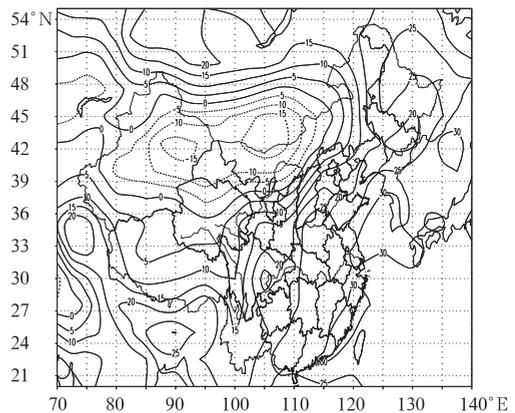


图 1 内蒙古干旱年大气相对湿度
(1000hPa~300hPa)距平图

由图 1 可见,在内蒙古干旱的气候时段,孟加拉湾、阿拉伯海、中国南海、黄海及日本海域大气相对湿度呈明显的正距平,距平值都为 20%~30%。此区域上空大气的相对湿度大,正距平控制范围广,是东亚大陆沿海地区的水汽输送源地。而深居内陆的我国新疆、华北地区大气相对湿度呈现明显的负距平,负距平值为-15%~-5%。内蒙古中西部地区正处于负距平控制区内,内蒙古西

北部甚至是负距平中心,为-15%。

因此,在内蒙古严重干旱年,海上及沿海地区大气的相对湿度高于常年,东亚沿海地区夏季雨水偏多,甚至成灾。深居内陆的中国西北、华北地区水汽贮存量明显不足,新疆和内蒙古西部尤甚,即使中高纬地区有较有利的槽脊系统移入,此区域也将由于大气干旱而无降雨。由此可见,空中水汽的不足是内蒙古夏季干旱的重要因素。

2 北半球水汽输送异常对内蒙古夏季干旱的影响

内蒙古的降水集中在夏季,夏季降水多寡直接影响内蒙古旱涝程度。内蒙古大部分地区远离海洋,大气中的可降水缺乏,所以是否有源源不断的水汽输送及水汽能否在内蒙古某地辐合,就成了内蒙古夏季降雨的关键。内蒙古中西部地区夏季降水的水汽源地^[7]主要是孟加拉湾、南海和东海海面;赤峰市、通辽市降雨的水汽源地主要是东海、黄海和渤海海面;而呼盟、兴安盟降雨的水汽源地主要是日本海和鄂霍次克海海面。来自孟加拉湾和南海的水汽往往先在四川盆地一带堆积,使这里的空气达到饱和或接近饱和状态,形成一个巨大的“水汽库”,内蒙古的水汽输送状况直接受其影响。

分析北半球多年平均水汽输送矢量场(图略)可见,随着季风环流系统的调整,夏季北半球中低层700hPa在东亚地区形成3类风场。第一类是低纬地区东部海上的副热带高压环流系统。这个环流系统带着南海和东部洋面上的水汽向东、向北影响东亚偏东地区的夏季降水。第二类风系是中纬度地区的西风环流系统。这个系统带着南部海域的水汽和低纬度地区的暖空气向北影响中国大部分地区。另一支风系是由高纬度地区的西北风环流组成,这个西北风环流带着西伯利亚

冷空气和高纬度地区的水汽向东影响东亚的中高纬度地区。第一、第二支风系受青藏高原大地形的强烈影响,在青藏高原形成爬坡和绕流。这个物理过程,对中国新疆和内蒙古西部地区夏季降雨有重大意义。三支风系相互独立又相互配合,引导东、南、西北三路水汽输送以及东亚地区的夏季降水量。

相对于多年平均,内蒙古干旱年份东亚地区的水汽输送(图2)有如下特征:副热带高压环流的水汽循环系统受到青藏高原周边系统异常强大的阻挡和压制^[8-9],副热带高压的位置偏东偏南,其外围的西南风系很难接近内蒙古地区,相应的水汽输送得不到保障,对内蒙古地区夏季降水产生不利影响。此外,来自中高纬的贝加尔湖低涡和鄂霍次克海阻塞高压对内蒙地区的干旱也有重要影响。在内蒙古的干旱夏季,贝加尔湖地区存在一个弱水汽辐合中心,此辐合中心受到鄂霍次克海阻高的影响不易东移。内蒙古东部地区受鄂霍次克海高压外围的控制,水汽不易到达。我国华北包括内蒙古地区夹在青藏高原水汽辐合中心和贝加尔湖水汽辐合中心之间,中低层水汽含量少,在西风环流的大气候背景下,无降水或降水偏少,形成干旱的气候。

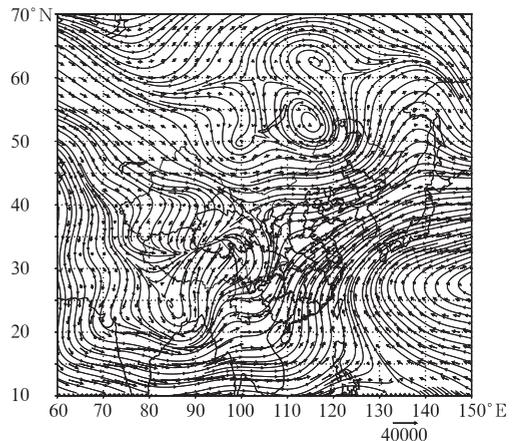


图2 内蒙古干旱年700hPa水汽通量矢量图

依据气象灾害大典,内蒙古历史上最显著的夏季洪涝年为 1978 年、1990 年、1998 年。进一步分析内蒙古夏季干旱年与洪涝年的水汽输送差值场(图 3),可以看到上述干旱特征更加明显:副热带高压环流异常偏弱;水汽通量在南部海上形成涡旋,涡旋内的水汽沿着副热带高压向北输送并向东转弯,与内蒙古地区距离较远。新疆及华北大范围地区水汽通量差值场呈现辐散形式,水汽不易集中。贝加尔湖与极地地区水汽通量场是辐合的,但位于两者之间的内蒙古中东部地区水汽通量是辐散的。

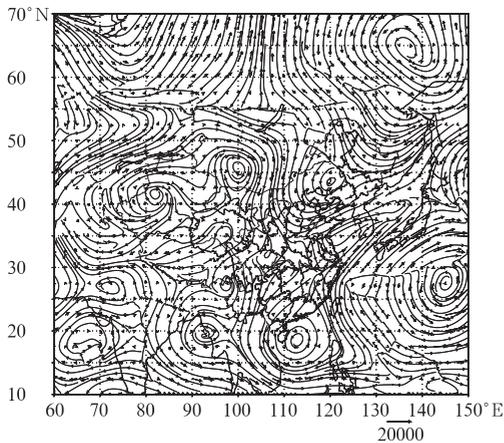


图 3 内蒙古干旱年与洪涝年 700hPa 水汽通量矢量差图

因此,副热带高压环流异常偏弱、内蒙古夏季降雨的南支系统难以建立以及受大气环流影响本地水汽呈辐散状态等诸要素都是内蒙古夏季干旱的重要成因。

3 内蒙古夏季干旱与北半球水汽输送相关分析

3.1 内蒙古东西部地区夏季干旱的水汽输送特征分析

由于内蒙古东西跨越的距离长达 4000 多公里,东部距海较近,西部则深居内陆,从

东向西干旱程度逐渐增大,水汽输送特征也不尽相同,因此以二连浩特为界,进一步分析东亚地区的水汽分布对内蒙古夏季降水的影响。根据气象灾害资料,内蒙古西部地区发生大范围干旱的年份有:1965 年、1971 年、1972 年、1980 年、1991 年;内蒙古东部地区发生大范围干旱的年份有:1968 年、1972 年、1975 年、1980 年、1982 年、1988 年、1989 年、1999 年、2000 年。以 7 月份 700hPa 为例,分析内蒙古东、西部地区夏季干旱的水汽输送特征,如图 4。

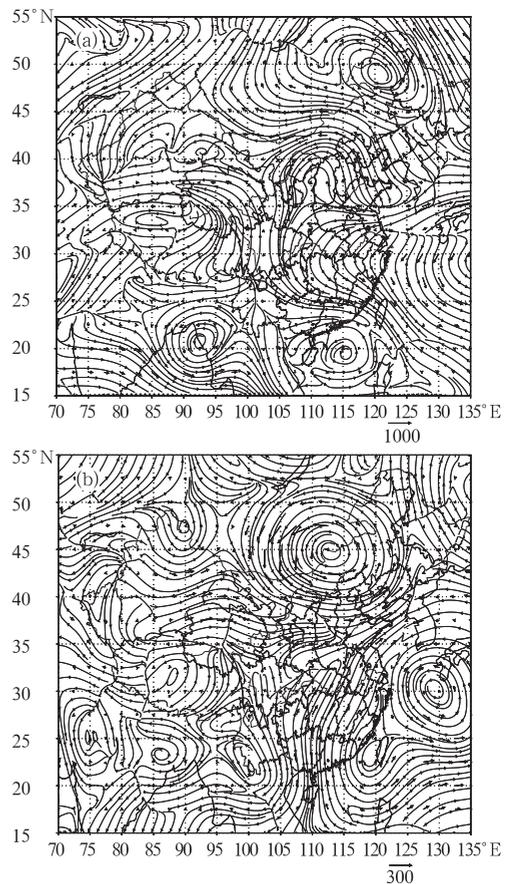


图 4 内蒙古西部(a)和东部(b)干旱年水汽通量矢量场距平图

内蒙古西部地区干旱年东亚存在几个水汽输送中心(图 4a):首先,日本海、黄海是一

个较大的水汽通量辐散区,此辐散区沿我国长江流域向西北、西南两个方向辐散,其西北支流经内蒙古中部地区之后向南转向。第二,在孟加拉湾地区存在一个水汽通量的辐合中心,但水汽通量强度较弱,水汽源地贮水量不足。孟加拉湾水汽辐合中心向北输送的水汽也很弱,其北缘只到达了 37°N 左右,建立的水汽通道偏西,水汽很难到达内蒙古西部地区。另一方面东部海上的水汽辐散区在内蒙古西部向南转向,与孟加拉湾北上的水汽输送带之间形成一个宽阔的水汽辐散区域。正常年份时,此区域是孟加拉湾经四川盆地向内蒙古西部地区进行水汽输送的“水汽通道”,而干旱年份此区域内水汽呈辐散状态。图中在内蒙古东北地区存在一个较强的水汽通量辐合中心。对于内蒙古东部地区(图 4b),在干旱年份东亚地区的水汽输送有如下特征:首先在南海、东海海面存在一个水汽通量辐合区,其外围是密集的西南气流,水汽通量大,位于中国东南沿海地区(图 4b),是内蒙古东部夏季降雨的水汽通道。在干旱夏年这支水汽过分南压,经渤海流出中国内陆。第二个水汽辐合中心位于内蒙古中部及蒙古国,辐合强度较强,其水汽通量矢量密集区位于内蒙古西部及中部偏南地区,而向东部输送的水汽通量偏少,对内蒙古东部地区的降水不利。再次证实了空中水汽的分布及输送对一个地区干旱与否有重要影响。

3.2 内蒙古夏季干旱与北半球水汽输送的相关分析

文中利用 NCEP 再分析资料和内蒙古实测降水(1961—2000 年)资料,分析东亚地区水汽分布与内蒙古夏季降水的相关性。以二连浩特为界,选取内蒙古东部农牧区代表站为:扎兰屯、突泉、通辽、赤峰、西乌旗;西部农牧区代表站为:察右前旗、包头、东胜、临河、宝昌。仍以 7 月份为例,将东西部农牧区

代表站的降水量距平进行区域平均,分析其区域降水状况与东亚水汽通量距平场的相关(图 5)。

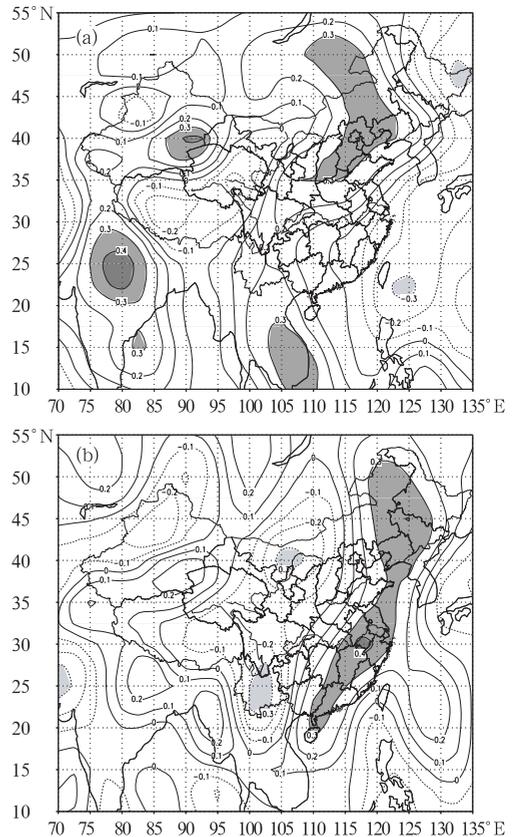


图 5 内蒙古西部(a)和东部(b)降水量距平与东亚水汽通量 q_v 距平场的相关系数
(阴影区 $\alpha=0.05$)

由内蒙古西部地区夏季降水量距平与东亚水汽通量距平场的相关分析(图 5a)得:对于南北方向的水汽通量而言,从南海、孟加拉湾经青藏高原东侧的四川盆地,向北深入到内蒙古中部的的水汽通量场与内蒙古中西部的夏季降水存在着明显的正相关,此正相关区域亦是内蒙古夏季降水的水汽通道。水汽通道的头、尾两端恰恰是内蒙古中西部降水的正相关中心,相关系数中心值为 0.3。说明孟加拉湾至南海区域以及内蒙古中部地区是内蒙古中西部地区夏季降水的关键区。青藏

高原对内蒙古西部地区夏季降水的影响也很明显:从青藏高原、我国甘肃省直至内蒙古西部的的水汽通量都与内蒙古中西部地区的夏季降水呈负相关,青藏高原对南来的孟加拉湾水汽所产生的巨大阻挡作用,直接减少了内蒙古中西部地区的夏季降水。另一方面,高原外围的新疆地区、印度半岛的水汽通量与内蒙古西部地区夏季降水呈正相关关系,相关中心值达到 0.3。中、低纬度湿气流在青藏高原受阻后,滞留的水汽仍对内蒙古降水有利。东海海域上的水汽由于输送路径不同,基本上达不到内蒙古中西部,而且与内蒙古中西部地区的降水有负相关关系。对于东西向的水汽通量输送(图略),由巴尔喀什湖向东南沿新疆、青海一带区域的水汽通量与内蒙古中西部地区的降水呈明显正相关,相关系数中心值为 0.3,此区域也是内蒙古中西部地区的冷空气输送路径。另一个与内蒙古中西部地区降水呈正相关的区域是贝加尔湖至鄂霍次克海一带的水汽通量,负相关系数中心值为 -0.3 。

由内蒙古东部地区降水量距平与东亚地区水汽通量距平相关分析(图 5b)得,对于南北方向的水汽通量,东亚的东南沿海地区存在一个与内蒙古东部地区降水有明显正相关的水汽通道。这个水汽通道南端是南海海域,沿着太平洋北部东海、黄海、日本海直上中国东北地区,此区域内水汽通量距平与内蒙古东部夏季降雨距平的相关值达到 $0.3\sim 0.4$ 。青藏高原对内蒙古东部地区的夏季降水也有重要影响:从青藏高原到我国西北地区的水汽通量都与内蒙古东部的夏季降水存在负相关关系,负中心值为 -0.3 ,位于四川和内蒙西部,此负相关区域几乎覆盖了整个中国西部地区。受青藏高原阻挡,在高原西北部和西南部滞留的水汽与内蒙古东部地区夏季降水有弱的正相关关系。在东西向的水汽通量输送中(图略),与内蒙古东部地区降

水呈显著正相关的区域是黄海、东海、日本海海域及以西的中国内陆地区,相关系数中心值为 0.3。贝加尔湖到鄂霍次克海区域的水汽通量与内蒙古东部降水呈明显负相关,负相关系数中心值达到 -0.4 。

4 结论与讨论

对于东亚大气中水汽的定性、定量描述,为内蒙古夏季干旱的气候特征及成因研究提供了一些参考。内蒙古夏季干旱的成因复杂,空中水汽的分布及输送是一个重要因素。

(1) 内蒙古地区夏季干旱时,孟加拉湾、中国南海、黄海及日本海域大气相对湿度呈高的正距平。我国西北、华北地区大气相对湿度呈明显的负距平,负中心值位于新疆和内蒙古西部。

(2) 夏季东亚地区中低层形成三类风系,第一类是低纬地区东部海上的副热带高压环流系统。第二类风系是中纬度地区的西风环流系统。另一支风系是由高纬度地区的西北风环流组成。第一、第二支风系受青藏高原大地形的强烈影响,在青藏高原形成爬坡和绕流。夏季三支风系相互独立又相互配合,决定了东亚地区夏季降水的分布特征。

(3) 内蒙古地区干旱的气候时段,副热带高压的位置偏东偏南,其外围的西南风系很难接近内蒙古地区。贝加尔湖地区存在一个弱水汽辐合中心,此辐合中心受到鄂霍次克海阻高的影响不易东移。我国华北地区位于青藏高原水汽辐合中心和贝加尔湖水汽辐合中心之间,易形成干旱的气候。

(4) 内蒙古西部地区发生干旱时,日本海、黄海是水汽通量辐散区,此辐散区沿我国长江流域向西北、西南两个方向辐散。孟加拉湾地区是一个水汽通量的辐合中心,强度较弱。内蒙古东部地区干旱时,南海、东海海面存在一个水汽通量辐合区,其外围位于中

国东南沿海。内蒙古中部及蒙古国是水汽通量辐合中心,辐合强度较强。

(5) 青藏高原对内蒙古东、西部地区的夏季降水有重要影响,高原及北部地区水汽通量与内蒙古地区夏季降水有负相关关系。孟加拉湾、南海经青藏高原东侧的四川盆地向北直到内蒙古中部的的水汽通量场,是内蒙古西部地区降水的高正相关区域。由南海沿着东海、黄海、日本海直到中国东北地区,是内蒙古东部地区降水的高正相关区。

参考文献

- [1] 郭建平,高素华,毛飞. 中国北方地区干旱化趋势和防御对策研究[J]. 自然灾害学报,2001,10(3):32-36.
- [2] 王志伟,刘文平,王红霞. 我国北方干旱逐月变化特征分析[J]. 气象,2005,31(1):37-40.
- [3] 苏爱芳,王纪军. 河南省近40年地表干湿状况及变干趋势研究[J]. 气象,2005,31(11):24-27.
- [4] 王长根主编. 内蒙古气候热点及对策研究[M]. 北京:气象出版社,1997:18-28.
- [5] 沈建国主编. 内蒙古气象灾害大典[M]. 北京:气象出版社.(待出版).
- [6] Kerry Emanuel. Report of the First Prospectus Development Team of the U. S Weather Research Program to NOAA and the NSF[G]. Meeting Summary: 54-68.
- [7] 刘景涛,罗孝逞编著. 内蒙古自治区天气预报手册(下册)[M]. 北京:气象出版社,1987:26-29.
- [8] Tao S Y, Chen L X. The East Asia summer monsoon. Tokyo: Proceedings of International Conference on Monsoon in the Far East. 1985, 5-8.
- [9] 徐祥德,陶诗言,王继志,等. 青藏高原——季风水汽输送“大三角形”影响域特征与中国区域旱涝异常的关系[J]. 气象学报,2002,60(3):257-266.