

陕西秋季降水变化特征

孙 娴 魏 娜 肖科丽

(陕西省气候中心, 西安 710015)

摘 要

利用 1960—2009 年陕西 74 个台站逐月降水资料和同期 NCEP/NCAR 再分析资料,采用 Mann-Kendall 和 REOF 等方法分析了近 50 年陕西秋季降水变化时空分布及环流特征。研究表明:近 50 年来,陕西 9 月降水对整个秋季降水具有决定性作用,呈现出“北少南多”和“北多南少”的空间分布特征;当西太平洋副热带高压位置偏西偏北,纬向环流指数偏弱,海平面气压场为“西低东高”的形势,850 hPa 风场上西北地区东部为西太平洋副热带高压外围的东南气流控制时,陕西秋季降水空间分布多呈现“北多南少”型。

关键词: 秋季降水; 纬向环流指数; 西太平洋副热带高压

引 言

目前,全球气候变化已成为科学界、各国政府和社会公众普遍关注的热点问题之一。IPCC 第 4 次评估报告表明:全球年平均地表气温近 100 年(1906—2005 年)以来升高了 $0.56\sim 0.92\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[1],达到了 1300 年以来的最高值。全球气候变暖,必然导致降水量的时空分布变化。研究表明,我国降水量变化存在明显的区域性差异和季节性特征^[2]。关于我国西部秋季降水已有较多研究,早在 20 世纪 50 年代,高由禧等^[3]就对我国秋雨的气候特点做了详细分析,指出华西秋雨与西风急流的建立和西南季风的撤退有密切关系;刘富明^[4]对华西秋雨与大气环流的季节转换进行了探讨;刘天适等^[5]对陕西 20 世纪 80 年代秋季连阴雨成因做了较为系统的总结;白虎志等^[6]分析华西秋雨的年代际变化趋势发现,华西秋雨在 20 世纪 80 年代中后期至 2000 年持续“中断”后,在 2001 年开始“恢复”,这种变化引起很多气象工作者的关注,从天气动力学和热力学的角度讨论华西秋雨的形成原因,发现西风带上短波槽东移与西太平洋副热带高压西南侧的东南暖湿气流交汇,造成了持续的阴雨天气^[7-11]。上述研究中,华西秋雨范围一般包括渭水流域、汉水流域、川东、川南东部地区,对于陕西来讲,只包括关中和陕南区域,不包括陕北区域。陕西北部处于东亚季风北边

缘活动地带,降水量年际变率大,属于我国一级气候敏感地带,是半干旱气候与半湿润气候的过渡区,也是荒漠地区与可耕地之间荒漠化正在发展的交缘地带^[12]。过去关于陕西北部区域气候变化方面的研究大都集中在夏季,陕西北部秋季降水持续时间长,降水量仅次于夏季,对当地的农业生产和国民经济有重要影响。2000 年以来,秋季降水明显增多,尤其是 2007 年秋季低温阴雨天气事件使得陕北 $1.07\times 10^5\text{ hm}^2$ 红枣绝收,直接经济损失达到 2 亿元。因此,开展陕西秋季降水变化规律和成因分析研究具有重要意义。目前关于陕西秋季连阴雨的研究多偏重于从天气学角度出发,从西太平洋副热带高压位置和纬向环流指数的长期年际变化与陕西秋雨关系的研究并不多见。

本文以近 50 年陕西逐月降水量资料为基础,对比分析 1960—2009 年陕西秋季降水的时空分布特征,并对陕西北部秋季降水特征进行成因分析,进一步认识陕西秋季降水变化规律,以期提高陕西秋季连阴雨预测准确率。

1 资料和方法

本文所用资料为 1960—2009 年陕西 74 个气象站 9—11 月逐月降水量资料,美国国家环境预测中心/国家大气研究中心(NCEP/NCAR)月平均海平面气压(SLP)、850 hPa 纬向风和经向风的再分析资

料,国家气候中心提供的 74 项环流指数。对所有资料进行严格的质量控制,剔除其中的错误记录,并对缺测或空白记录进行插补。采用 Mann-Kendall (MK)方法^[13]和 REOF 方法^[13]进行分析。

2 陕西秋季降水变化特征

近 50 年来,陕西秋季降水量总体呈下降趋势且年际波动幅度非常大(图略),秋季降水量最小值为 74.6 mm(1998 年),最大值为 356.1 mm(1975 年)。同时,陕西秋季降水量还具有明显的年代际变化,降水偏多年份主要集中在 20 世纪 60 年代至 80 年代中期,1986—2000 年是秋季降水量偏少时期,这一时期秋季平均降水量为 141 mm,较常年减少近 20%。2000 年以来,陕西秋季降水量较 20 世纪 90 年代有明显的增加趋势。为了突出秋季各月对整个秋季降水的贡献率,分别用 9 月、10 月和 11 月降水量与秋季降水量进行比较,发现 9 月降水量占整个秋季降水量 57.3%,其中 2001—2009 年为 61.5%,比 20 世纪 90 年代所占百分比高出 13.3%;10 月降水量占秋季降水量的 31.3%,2001—2009 年为 31.1%,比 90 年代所占百分比下降 5.3%;11 月降水量占秋季降水量的 11.4%,2001—2009 年为 7.4%,比 90 年代所占百分比下降 8.0%。分析 9 月、10 月和 11 月降水量变化,发现陕西秋季降水量主要集中在 9 月和 10 月,其中只有 9 月降水量在 2000 年以后出现增长趋势,10 月和 11 月降水量略有下降,但趋势并不明显。因此,本文将重点分析 9 月降水量的变化。

采用 REOF 方法对陕西 9 月降水量进行空间分型(图略),发现陕西 9 月降水量表现出“北少南多”型和“北多南少”型两种空间分布特征。关于“北少南多”型已有了大量的研究工作,但对于“北多南少”型降水还研究不多,因此本文着重分析“北多南少”型。图 1 为陕西北部(包括陕北长城沿线风沙区和黄土高原沟壑区)19 个气象站 9 月降水量的变化曲线,从图 1 可以看出,陕西北部 9 月降水量的年代际波动幅度非常大,1960—1985 年降水量偏多,平均值为 85 mm 左右,1986—2000 年降水异常偏少,平均降水量只有 44 mm,2001 年开始降水量明显增加,降水量平均值达到 92 mm,陕西北部 9 月降水量经历了“多-少-多”的年代际变化趋势,所以有必要进一步分析陕西北部 9 月“北多南少”型降水异

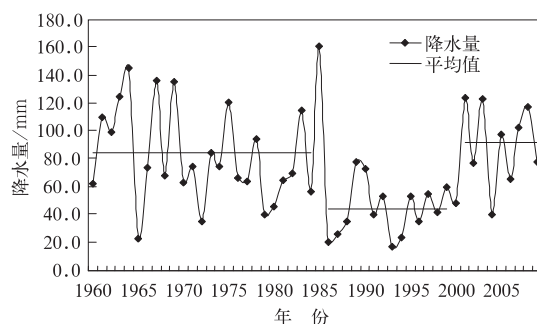


图 1 1960—2009 年陕西北部
9 月降水量变化曲线

Fig. 1 Change of September precipitation in
Northern Shaanxi from 1960 to 2009

常变化的成因。

3 陕西“北多南少”型秋季降水异常分析

研究表明:西北地区东部降水的偏多、偏少既与副热带高压的强度和北界位置有关,又与西风带纬向环流指数偏弱、偏强有关^[12,14]。所以分析陕北地区 9 月降水的形成原因,主要考虑两个方面:纬向西风气流和西太平洋副热带高压。纬向西风偏弱时,意味着西风气流经向活动频繁,有利于冷暖空气的南北交换;西太平洋副热带高压位置偏北偏西时,有利于南方水汽向北输送。

3.1 与纬向环流指数变化的对比分析

关于区域西风指数的研究早在 20 世纪 30 年代后期,Rossby^[15]就提出区域西风指数的概念,用 35°N 和 55°N 纬圈平均海平面气压差来反映北半球温带地区(35°~55°N)西风的强弱。近年来大家逐渐认识到西风指数的强弱反映了中高纬度地区大气环流的基本状态,并且与我国区域性气候有着密切的联系^[16-20]。在本研究中,选择 45°~65°N,60°~150°E 区域来研究纬向环流指数与陕西北部秋季降水的关系。

区域西风指数定义为

$$I = \frac{1}{37} \left(\sum_{N=1}^{37} H_{1,N} - \sum_{N=1}^{37} H_{2,N} \right). \quad (1)$$

式(1)中, I 为区域西风指数; $H_{1,N}$, $H_{2,N}$ 分别为 9 月 500 hPa 等压面沿 45°N 和 65°N 纬圈的平均高度值; N 为沿纬圈取定的等距经度数(所取经度范围为 60°~150°E),间隔为 2.5°。

图 2 为 1960—2009 年 9 月陕西北部降水与纬

向环流指数的比较。由图 2 可知,近 50 年来,该指数具有明显的年代际变化特征,1960—1980 年除了 1977 年和 1978 年降水量异常偏多外,其余年份基本为负距平,而对应的陕西北部 9 月降水量除了 1965 年和 1972 年异常偏少外,其余年份基本为正距平,说明纬向指数偏弱,经向气流活动偏强,降水偏多;1980—2000 年,纬向环流指数正距平偏多,陕西北部区域降水负距平偏多,说明纬向环流指数偏强,经向气流活动偏弱,不利于降水的产生;而 2000 年以后纬向环流指数负距平偏多,降水正距平偏多;在近 50 年中,一共出现了 30 次区域纬向环流指数标准化距平符号与降水标准化距平符号相反,相关

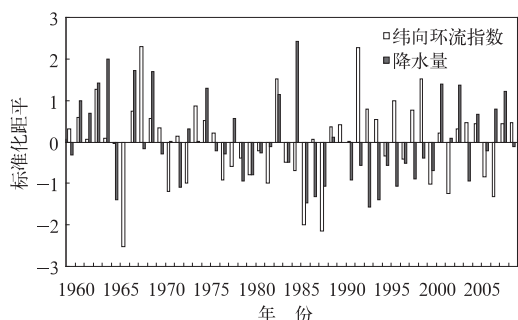


图 2 1960—2009 年 9 月陕西北部降水量标准化距平与纬向环流指数标准化距平比较
Fig. 2 The comparison between standard departure values of in Northern Shaanxi September rainfall and that of zonal circulation Index from 1960 to 2009

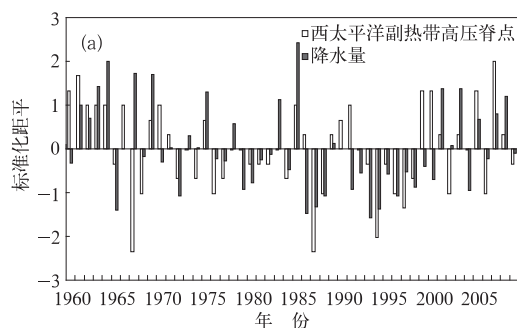


图 3 1960—2009 年 9 月陕西北部降水量与西太平洋副热带高压北界(a)和西太平洋副热带高压西伸脊点(b)标准化距平

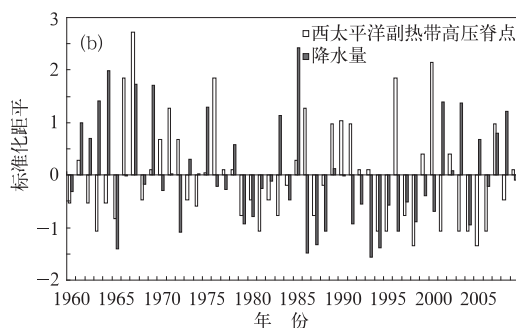
Fig. 3 Relationships between normalized anomalies of precipitation in Northern Shaanxi with those of northern borderline (a) and westward ridge point (b) of subtropical high over west Pacific in September during 1960—2009

根据陕西北部 9 月降水与纬向环流指数和西太平洋副热带高压位置年代际关系相关的统计(表 1)表明:近 50 年,当西太平洋副热带高压位置偏西偏

系数为 -0.277 ,通过了 0.05 的显著性检验。说明在上述的 30 个年份里,区域西风指数偏强,降水偏少;反之,则偏多。

3.2 与西太平洋副热带高压位置变化的对比分析

采用国家气候中心提供的西太平洋副热带高压北界和西伸脊点表述位置变化的两个指标,将其标准化距平与陕西北部 9 月降水量标准化距平进行对比分析。图 3a 为陕北地区降水量标准化距平与西太平洋副热带高压北界标准化距平的比较,可以看到,1961—1965 年、1968—1969 年、1971—1972 年、1975—1977 年、1979—1982 年、1984—1985 年、1987—1989 年、1992—1998 年、2001 年、2003 年、2005 年和 2007—2008 年共 35 年内西太平洋副热带高压北界标准化距平和陕西北部 9 月降水量标准化距平符号相同,相关系数达到 0.3897 ,通过 0.01 的显著性检验,尤其在 1990 年以后符号相同次数明显偏多。说明西太平洋副热带高压位置偏北,陕西北部降水偏多;反之,则偏少。图 3b 为陕西北部降水量标准化距平与西太平洋副热带高压西伸脊点标准化距平的比较,在近 50 年中,共出现 25 个西太平洋副热带高压西伸脊点标准化距平和陕北地区降水量标准化距平符号相反的年份,相关系数为 -0.231 ,通过了 0.10 的显著性检验,其中在 1960—1970 年和 2000 年至今符号相反次数偏多,说明西太平洋副热带高压位置偏西,降水偏多;反之,则偏少。



北(偏东偏北或偏西偏南)时,陕北地区 9 月降水出现偏多(偏少)年份为 12 年(25 年);当纬向环流指数偏弱(偏强)时,陕北地区 9 月降水出现偏多(偏

表 1 陕西北部 9 月降水量与纬向环流指数和
西太平洋副热带高压位置关系

Table 1 The interdecadal changes of precipitation in
September in Northern Shaanxi, zonal circulation index and
the location of subtropical high over west Pacific

要素	1960—1985 年	1986—1999 年	2000—2009 年
9 月降水量	偏多	偏少	偏多
纬向环流指数	低指数	高指数	低指数
西太平洋副热带高压	偏西偏北	偏西偏南或偏东偏北	偏西偏北

少)年份为 14 年(16 年)。以上的分析表明西太平洋副热带高压位置和纬向环流指数强弱对陕西北部 9 月降水有重要影响。

3.3 与陕西北部降水异常相联系的大气环流特征

降水异常跟大气环流的异常密切相关,图 4a 为陕北降水偏多年份(1964 年、1967 年、1985 年、2001 年和 2003 年)和偏少年份(1965 年、1986 年、1993

年、1994 年和 2004 年)合成的 9 月海平面气压差值,由图 4a 可知,我国大陆地区及孟加拉湾海域均为负值区,其负值中心主要在新疆西北部和西北地区,我国东部海域为正值区,9 月我国西北地区还受低压控制,东部海域为副热带高压影响下的高压区,这些负值区说明降水偏多期由新疆西北侧东移下来的低值系统要多于降水偏少期。正值区表明降水偏多期的地面高压要强于降水偏少期,也意味着副热带高压在降水偏多期更强一些。所以在降水偏多期,地面气压场呈现“西低东高”的形势,反之,则是“西高东低”。与之对应的 850 hPa 风场差值图(图 4b)在东北和华北地区上空受副热带高压影响为反气旋环流,西北地区东部为西太平洋副热带高压外围的东南气流控制,将西北太平洋上的水汽输送给西北地区从环流形势上来看,在降水偏多的年份,西太平洋副热带高压强度偏强,位置偏西偏北。

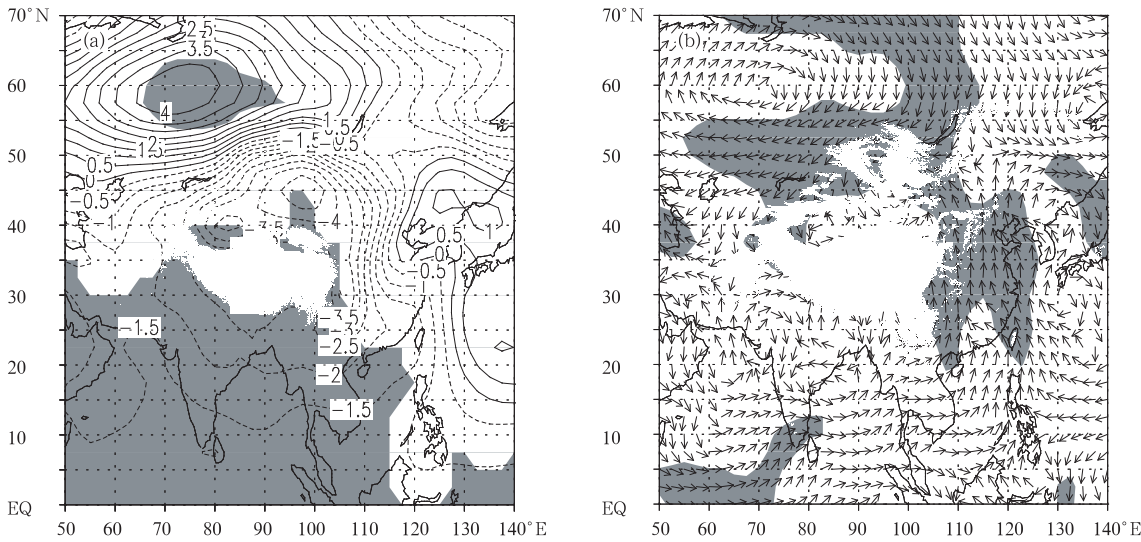


图 4 陕西北部 9 月降水偏多和偏少年份合成的海平面气压差值图(单位:hPa)(a)
和 850 hPa 风场差值图(b) (阴影区域为通过 0.05 的显著性检验)

Fig. 4 The departures of sea surface pressure (unit:hPa) (a) and 850 hPa wind field (b) of the composited
years in terms of the maximin and minimin of the precipitation in September over Northern Shaanxi
(level exceeds 0.05 shown as shaded)

4 结论与讨论

1) 近 50 年来,陕西秋季降水量总体呈下降趋势且有明显的年代际变化特征,其中 9 月降水量变化对整个秋季降水变化有决定性作用,空间分布呈现出“北少南多”和“北多南少”两种特征,其中“北多

南少”型(陕西北部)降水经历了“多-少-多”的变化特征。

2) 当陕西北部降水量偏多(偏少)时,西太平洋副热带高压位置偏西偏北(偏东偏北或偏西偏南),纬向环流指数偏弱(偏强),这种变化关系在 20 世纪 80 年代以后表现更为明显。

3) 陕西北部 9 月降水量偏多年份,海平面气压

场呈现“西低东高”的形势,说明由新疆西北侧东移下来的低压系统要多于降水量偏少年份;在850 hPa流场上,西北地区为太平洋副热带高压外围的东南气流控制,带来西太平洋和孟加拉湾的水汽。

本研究仅从统计角度来揭示西太平洋副热带高压位置变化和纬向环流指数强弱与陕西北部9月降水的关系,但可以发现西太平洋副热带高压位置变化和纬向环流指数强弱与陕西北部秋季降水在时间和空间上有一定的相关关系,这种趋势之所以在20世纪80年代后期表现得更为明显一些,这可能与NCEP/NCAR资料的可靠性有一定关系。总之,进一步分析这些变化规律和探讨其形成机理,对认识和预测陕西秋季降水特征具有一定意义。

参考文献

- [1] 威廉·伯勒斯. 21世纪的气候. 北京:气象出版社,2007.
- [2] 王遵娅,丁一汇. 中国雨季的气候学特征. 大气科学, 2008, 32(1):1-12.
- [3] 高由禧,郭其蕴. 我国的秋雨现象. 气象学报, 1958, 29(4): 264-273.
- [4] 刘富明. 大气环流由夏到秋的转变及其与四川秋雨形成的关系. 四川气象科技, 1981(2):1-6.
- [5] 刘天适,周全瑞. 1981年8月13—24日汉中、宝鸡地区连阴雨特大暴雨天气分析. 陕西气象, 1983(5):13-15.
- [6] 白虎志,董文杰. 华西秋雨的气候特征及成因分析. 高原气象, 2004, 23(6):884-889.
- [7] 鲍媛媛,阿布力米提,李峰,等. 2001年华西秋雨时空分布特点及其成因分析. 应用气象学报, 2003, 14(2):215-222.
- [8] 方建刚,白爱娟,陶建玲,等. 2003年陕西秋季连阴雨降水特点及环流条件分析. 应用气象学报, 2005, 16(4):509-517.
- [9] 方建刚,侯建忠,陶建玲,等. 秦岭地区秋季降水的气候特征分析. 气象科学, 2008, 24(4):416-420.
- [10] 方建刚,张弘,白爱娟,等. 陕西强连阴雨天气个例的综合分析. 气象科学, 2006, 26(5):578-585.
- [11] 陈娇娜,李国平,黄文诗,等. 华西秋雨天气过程中GPS遥感水汽总量演变特征. 应用气象学报, 2009, 20(6):753-760.
- [12] 汤绪,孙国武,钱维宏. 亚洲夏季风北边缘研究. 北京:气象出版社,2003.
- [13] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第2版). 北京:气象出版社, 2007.
- [14] 黄菲,李栋梁,汤绪,等. 用过程透雨量确定的东亚夏季风北边缘特征. 应用气象学报, 2009, 20(5): 530-538.
- [15] Rossby C G. Relationship between variations in the intensity of the zonal variation and the displacement of the semi-permanent centers of action. *J Marine Res*, 1939, 2: 38-55.
- [16] 李崇银. 气候动力学. 北京:气象出版社,2005.
- [17] 王绍武. 北半球500毫巴月平均环流特征及演变规律的研究: 西风指数. 气象学报, 1963, 33(3): 361-374.
- [18] 严华生,胡娟,范可,等. 近50年来夏季西风指数的变化与中国夏季降水的关系. 大气科学, 2007, 31(4): 717-726.
- [19] 冯文,王可丽,江灏. 夏季区域西风指数对中国西北地区水汽场特征影响的对比分析. 高原气象, 2004, 23(2): 271-275.
- [20] 李万莉,王可丽,傅慎明,等. 区域西风指数对西北地区水汽输送及收支的指示性. 冰川冻土, 2008, 30(1):28-34.

Variation Characteristics of Autumn Precipitation in Shaanxi Province

Sun Xian Wei Na Xiao Keli

(Shaanxi Provincial Climate Center, Xi'an 710015)

Abstract

Based on monthly rainfall data of 74 stations and NCEP/NCAR reanalysis dataset from 1960 to 2009, the variation characteristics of autumn rainfall over Shaanxi Province and the main factors influence on autumn rainfall are analyzed by the methods of Mann-Kendall and REOF with a horizontal resolution of $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$. It shows that the rainfall of September has decisive effect on the total autumn rainfall over Shaanxi Province. The September rainfall occupies 57.3% of the total autumn rainfall from 1960 to 2009, and from 2000 to 2009 it occupies 61.5%. The September rainfall can be divided into 2 types by spatial distribution: One is fewer in the north and more in the south, the other is more in the north and fewer in the south. The first type shows no obvious decadal variations, but the second type varies obviously in these

decades as it occurs a lot from 1960 to 1985, less frequently from 1986 to 2000, and then more frequently again from 2001 to 2009. Statistics on the variation of atmospheric circulation and the second type rainfall distribution indicates that when subtropical high over western Pacific (SHWP) is more northwest (north-east and southwest) to its regular position, there are 12 years (25 years) that the September rainfall over the northern Shaanxi Province is more (less) in the past 50 years. When the zonal circulation index (ZCI) is weaker (stronger), there are 14 years (16 years) that the September rainfall over the northern Shaanxi Province is more(less) in the past 50 years. The correlations between the rainfall, the SHWP and ZCI are more obvious since the 1980s. Meanwhile the sea level pressure is low in the west and high in the east in the years when September rainfall over the northern Shaanxi Province is more, because there are more low weather systems from the northwest Xinjiang. So the east part of northwest China is controlled by the sub-tropical high over west Pacific and the southeast winds provides sufficient water vapor.

Key words: autumn rainfall; zonal circulation index; subtropical high over western Pacific

欢迎订阅《应用气象学报》

《应用气象学报》是由中国气象科学研究院、国家气象中心、国家卫星气象中心、国家气候中心、国家气象信息中心和中国气象局气象探测中心联合主办的大气科学理论与应用研究的综合性学术期刊。《应用气象学报》将向您提供有关我国大气科学领域内研究和应用成果的最新论文、资料、方法等大量信息,内容包括气象预报、卫星气象、农业气象、海洋气象、航空气象、环境气象、人工影响天气、应用气象、大气探测、遥感技术以及计算机应用技术等学科;还将向您介绍国内外现代科技的最新理论与新技术在大气科学中应用的研究论文及信息。主要栏目有论著、短论、综合评述、业务系统、学术论坛、研究简报、书刊评介等。本刊被《中文核心要目总览》确认为大气科学(气象学)类核心期刊,并已首批入选“中国科学引文数据库”(CSCD),中国科学技术期刊文摘(CSTA)国家数据库(英文版)收录的刊源名单,并被美国气象学会“气象与地球天体物理学文摘”(MGA)和美国国际科学应用协会(SAIC)以及中国科学文摘(英文版)等多种文摘摘录。本刊还首批入选“中国学术期刊(光盘版)”、“万方数据——数字化期刊群”和“中文科技期刊数据库”。《应用气象学报》面向广大的气象科研、业务技术人员、在校有关专业的研究生、大专院校师生等专业人员。

《应用气象学报》为双月刊,逢双月出版,可以随时汇款订阅或购买(户名:中国气象科学研究院,账号:11001028600056086013,开户行:建行北京白石桥支行)。2010年6期(每期定价30.00元),总订价180.00元(含邮资)。

订阅地址:北京市中关村南大街46号中国气象科学研究院《应用气象学报》编辑部;邮政编码:100081。

联系电话:(010)68407086,68408638。

E-mail: yyqxxb@cams. cma. gov. cn, yyqxxb@163. com。

网址: qk. cams. cma. gov. cn。