

浅论西北干旱区陆面过程和大气边界层 对区域天气气候的特殊作用

张强^{1,2}, 黄荣辉³, 王胜²

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,
中国气象局气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020;

2. 甘肃省气象局, 甘肃 兰州 730020; 3. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘 要: 陆面过程和大气边界层是气候系统的重要环节, 对大气和气候有明显影响。本文在总结以往研究过程的基础上, 归纳了我国西北干旱区陆面过程和大气边界层在4个方面的独特性, 分析了这些独特性对天气过程和气候特征的6个方面影响。并且, 讨论了陆面过程和大气边界层科学未来需要重点关注的4个重要问题, 对如何继续发展做了一些初步思考。

关键词: 西北干旱区; 陆面过程; 大气边界层; 天气气候; 特殊作用

中图分类号: P404

文献标识码: A

引 言

陆面过程和大气边界层过程是气候系统中两个即密切相关又十分重要的过程, 它们反映了气候系统陆—气界面的动量、能量、水分和物质的交换和传输过程, 是气候系统响应外部强迫和调整内部变化的重要环节^[1-3]。无论是气候变化还是大气环流异常都与陆面过程和大气边界层的贡献密不可分, 尤其是暴雨、沙尘暴和冰雹等突发性强对流气象灾害和极端气候事件更是与陆面过程和大气边界层过程之间存在着内在必然联系。

西北地区是我国干旱、沙尘暴和冰雹等天气气候灾害最为多发、受气象灾害影响最严重的地区之一, 其独特的大气边界层和陆面过程特征所起的作用十分重要, 陆面过程和大气边界层的天气气候学意义非常值得我们重视^[4-5]。不过, 目前大多数研究更多专注于陆面过程和大气边界层特征和规律的认识^[6], 而对西北干旱陆面过程和大气边界层在天气和气候中的作用和角色的理解十分有限^[7]。本文试图在总结以往研究结果的基础上, 通过综合归纳, 进一步系统分析讨论这一问题, 为提高我国西北

干旱区天气预报和气候预测提供必要的科学参考。

1 西北干旱区独特的陆面过程和大气边界层特征

我国西北干旱区地域广阔, 约占国土面积的1/3左右。由于该区域地处大陆腹地、干旱少雨、沙漠戈壁广布, 生态环境十分脆弱, 气候变化非常显著, 气候系统对边界层过程和陆面过程特征变化的响应比较敏感, 陆面过程特征和大气边界层结构的细微变化往往会引起气候状态和生态环境系统的剧烈改变^[8]。从生态与水分的相互作用角度讲, 由于该地区干旱少雨, 陆面水分过程就成了制约区域生态环境系统演化的主要因素, 并且陆面能量和植被生理生态过程对陆面水分过程的响应也十分敏感, 陆面水分过程的变化往往会引起陆面能量循环的剧烈调整和植物生理生态的明显反应。在很多情况下, 往往会由于陆面过程特征和大气边界层结构的某些改变造成地表能量输送、水分循环和植物生理特征的较大波动, 从而影响到天气过程的形成和气候状态的改变及生态环境的演化等许多方面^[9-10]。因此,

收稿日期: 2011-02-27; 改回日期: 2011-05-06

基金项目: 国家自然科学基金重点项目“黄土高原陆面过程观测与试验研究”(40830957)和“国家公益性行业科研专项“西北地区旱作农业对气候变暖的响应特征及其预警和应对技术研究”共同资助。

作者简介: 张强(1965-), 男, 甘肃靖远人, 研究员, 博士生导师, 博士后合作导师, 主要从事大气边界层、陆面过程、干旱气候与环境等领域研究。E-mail: zhangqiang@cma.gov.cn; qzhang@ns.lzb.ac.cn

西北干旱区陆面过程和大气边界层在区域气候系统中扮演着十分特殊的角色。

由于西北干旱区特殊的地理、地貌和气候环境,造就了其独特的边界层结构和陆面过程特征^[11]。与其它地区相比,西北干旱区陆面过程和大气边界层的特征有如下 4 个方面的突出特点。首先,由于西北干旱区晴空少云,光照充分,该地区太阳辐射强烈,晴天时太阳总辐射很大^[12],有时接近甚至超过太阳常数,明显高于湿润地区。其次,由于西北干旱区植被稀少,以荒漠戈壁下垫面为主,其地表反照率较湿润区高 1 倍左右^[13]。第三,由于西北干旱区太阳辐射强、地表裸露干燥,白天地面辐射加热迅速,近地层大气感热通量要比其它地区大得多^[14],大约可以达到湿润地区的 1~2 倍。第四,由于该地区地表辐射加热迅速,近地层浮力通量强,夏季晴天能够发展可高达 4 000 m 左右的深厚对流边界层和很强的干对流过程^[15-16]。总之,西北干旱区强太阳辐射的地面加热作用、高地表反照率的能量调配作用、强地表感热的热源作用及深厚对流大气边界层的对流输送作用和扩容作用会对该区域陆—气相互作用及天气过程形成和气候环境演变发挥极其重要的作用,扮演十分特殊的角色。

2 在天气气候中的特殊作用

西北干旱区独特的陆面过程和大气边界层特征对我国天气气候的影响比较广泛,也比较复杂。尽管,目前对这方面的了解并不深入,但可以将初步的认识归纳为以下 6 个主要方面。

(1) 气候系统的加热因素。地表反照率是影响陆面辐射收支的一个十分重要的陆面过程参数,对地面加热场有明显的影响。西北干旱区地表反照率要较湿润区高 1 倍左右,这不仅对陆面辐射收支有重要影响,而且对降水和气候也有一定作用。由于反照率的不同,能够直接导致大气气溶胶不同的气候效应。在反照率较高的西北干旱沙漠地区,大气气溶胶会减小行星反照率,从而导致气候系统加热^[17]。

(2) 自由大气中下沉气流的有利条件。西北干旱区陆面潜热通量很小,仅是陆面感热通量的 1/10 左右,地表通过蒸散过程向自由大气输送的水分很少。这不仅会使西北干旱区上空自由大气中的水汽稀少,而且云中潜热释放的热量也很弱,所以自由大气一般表现为“热汇”和“湿汇”结构,有利于形成下

沉气流^[18],抑制降水过程发生。

(3) 干对流的主要能量来源。西北干旱区高感热通量对大气的热源作用非常显著,为发展较强的干对流活动提供了比较充足的能量条件^[19],一般容易形成荒漠尘卷风等干对流性天气现象。这就是为什么我们在荒漠戈壁上经常可以看到就地形成尘卷风的原因。

(4) 特强沙尘暴的关键诱因之一。西北干旱区沙漠戈壁地表对太阳辐射加热响应快速而剧烈,大气边界层自由对流运动十分活跃,可以诱发可高达 4 000 m 左右的深厚对流边界层,强自由对流活动和深厚对流边界层在天气尺度冷锋强迫作用下,容易激发出特强沙尘暴天气过程(黑风)^[20]。这从西北干旱区特强沙尘暴 1 年中多发生在 4 月底至 5 月初的快速升温期及在 1 天中多发生在地表加热最强的下午时段就能充分说明这一点。

(5) 沙尘气溶胶远距离输送的重要帮手。来源于地表的大气沙尘气溶胶主要被限制在大气边界层以内,而西北干旱区夏季白天对流边界层厚度可高达 4 000 m 左右,如果再加上该地区 1 500 m 左右的海拔高度,那么西北干旱区沙尘分布的海拔高度可高达 5 500 m 左右。这对许多下游低海拔平原地区和海洋区域而言,就如发生在青藏高原的沙尘暴一样,这种居高临下的沙尘气溶胶分布形势,会使扬起的沙尘气溶胶很容易被携带进入西风带,从而输送到下游更远的地区^[21]。

(6) 干旱化的潜在因素。地表高感热通量一般会造成地表很强的蒸发能力,这无疑将加重干旱化的程度^[22]。同时,深厚对流大气边界层还会增加雨滴蒸发损耗程度^[23],减少了到达地面的降水量。此外,深厚对流边界层还会扩大大气边界层的水汽容积,从而稀释了边界层的水汽含量,使大气显得更加干燥,从而更不容易形成降水,加重干旱化程度。

3 未来发展展望

展望未来,西北干旱区陆面过程和大气边界层研究如果能够在现有成果基础上进一步得到持续深入开展,必将会在关键技术方面对我国现代气象业务发展做出显著贡献。

(1) 数值模式改进。数据资料同化及陆面过程和边界层参数化是改进数值模式的 2 个最重要方面。目前,在国际流行的大气数值模式中,陆面过程

和大气边界层参数化方案很少有我国自己观测试验研究结果的贡献,大都是在国外观测试验基础上提出或假设的,它们并不能很好地描述我国西北干旱区独特的陆面过程特征和大气边界层结构,这也正是目前所有大气数值模式在我国西北干旱区模拟效果较差的主要原因之一^[7]。所以,通过系统深入的观测试验研究获得更接近我国西北干旱区实际的陆面过程和大气边界层参数化关系,并将其用于我国发展的大气数值模式中,无疑会大大改进我国数值模式的模拟能力。

(2)沙尘暴预报。在西北干旱区,一方面,沙尘暴天气的形成与陆面热力作用密切相关;另一方面,沙尘气溶胶对大气边界层又有特殊的强迫作用。沙尘气溶胶的特殊强迫作用主要表现在3方面:一是与特强沙尘暴伴随存在的剧烈的干对流活动所引起的宏观垂直输送对边界层的动力强迫作用;二是大气边界层内高浓度的沙尘含量对边界层的辐射强迫作用;三是由于沙尘气溶胶与一般大气成分的异质性大气会表现为二相流运动特征。它们都会对沙尘暴天气的形成和发展有显著作用。进一步深入认识沙尘暴天气过程与陆面过程和大气边界层相互作用的特征和规律将会明显提高沙尘暴天气预报的准确率。

(3)干旱监测预测。陆面水分过程是影响区域水分循环和水资源分布的主要过程,对全球变化的响应十分敏感。目前,对大气水分循环的模拟并不是十分成功,即便对降水过程都很难比较准确地模拟。困扰这一问题的原因固然很多,但陆面水分过程的复杂性无疑是制约这一问题的主要因素。由于西北干旱区陆面水分过程的复杂性,目前无论在数值模式中还是在理论分析中对其描述都还很不完善,尤其对降露、土壤水分吸附和蒸馏等干旱区特殊的陆面水分过程还没有充分考虑^[24],对陆面过程中表面蒸发和土壤水分输送的计算还存在许多理论困惑。比如,往往出现模拟的土壤湿度干化速度要比实际迅速得多,或模拟的蒸散量严重失常,这影响了对干旱的有效监测和预测。加强对陆面过程水分循环机理的深入探讨,会增强对干旱灾害的监测预测水平。

(4)气候变化影响评估。西北干旱区是气候变化的敏感区,大气边界层和陆面过程对气候变化有十分重要的影响,气候变化的许多奥秘蕴藏在大气边界层和陆面过程复杂的能量转化过程之中^[25]。

揭示陆面过程和大气边界层特征的长期变化规律,对认识气候变化的奥秘具有十分重要的意义。但这需要几十年以上的长时间序列的、精度可靠的观测试验资料,目前的大多数观测试验很少能够达到这一要求。如果能够在西北干旱区坚持开展长期可靠的陆面过程和大气边界层观测无疑会有助于加深对气候变化机理的认识和理解,增强对气候变化影响评估的科学水平。

4 结束语

我国西北干旱区陆面过程和大气边界层研究已经取得了比较丰富的成果,并且也已经初步认识到其独特的陆面过程和大气边界层特征对天气和气候的重要影响,这为今后应用陆面过程和大气边界层研究成果推进天气气候业务技术发展奠定了重要科学基础。

从科学发展规律讲,大气边界层和陆面过程研究只有贴近实践和面向应用才会有更强劲的生命力,其每一步飞跃几乎都与应用领域的新需求分不开。这正如大气边界层研究最初是基于军事活动的需要而建立,尔后随着航空、火箭、导弹、卫星发射、大气污染治理和生态环境建设等方面的广泛需要而迅速发展壮大。

目前,现代气象业务发展为陆面过程和大气边界层研究提供了机遇,也提出了挑战。未来大气边界层和陆面过程研究应该遵循科学发展的规律,瞄准气象业务发展的现实技术需求,在改进数值模拟能力、提高预报预测准确率、增强气候变化预估评估能力等核心业务方面发挥关键技术作用。不过,这必然将使基础理论性的大气边界层和陆面过程研究成果面临业务实践的严峻挑战。

不过,辩证而言,科学技术中的难题同时也是科学发展的机遇。目前,大气边界层和陆面过程研究成果应用的难题大都是由于实际下垫面的复杂性所衍生出来的。事实上,大气边界层和陆面过程研究从理想下垫面走向复杂下垫面的发展方向正是大气科学从理想条件走进实际大气的必然趋势,这如同大气动力学研究从当年地转近似逐步发展出一套完整的大气控制方程,以及大气科学从线性理论逐步向非线性理论、从平衡态热力学逐步向非平衡态热力学发展一样。因此,西北干旱区复杂下垫面陆面过程和大气边界层理论的突破将会为该学科研究开创更加广阔的发展前景。

参考文献:

- [1] 赵生才. 全球变化与中国水循环前言科学问题[J]. 地球科学进展, 2002, 17(4): 628-730.
- [2] 陈家琦. 全球变化和水资源的可持续开发[J]. 水科学进展, 1996, 7(3): 187-192.
- [3] 张宗祜, 张光辉. 大陆水循环系统演化及其环境意义[J]. 地球学报, 2001, 22(4): 289-292.
- [4] 张强, 王胜. 关于干旱和半干旱区陆面水分过程的研究[J]. 干旱气象, 2007, 25(2): 1-4.
- [5] 张强, 张存杰, 白虎志. 西北地区气候变化新动态及对干旱环境的影响[J]. 干旱气象, 2010, 28(1): 1-7.
- [6] 张强, 王胜, 张杰, 等. 干旱区陆面过程和大气边界层研究进展[J]. 地球科学进展, 2009, 24(11): 1185-1194.
- [7] 黄荣辉. 我国在气候灾害的形成机理和预测理论研究[J]. 地球科学进展, 2006(21): 564-575.
- [8] 张强, 赵映东, 张存杰, 等. 西北干旱区水循环与水资源问题[J]. 干旱气象, 2008, 26(2): 1-8.
- [9] 张强, 黄荣辉, 王胜, 等. 西北干旱区陆-气相互作用试验(NWC-ALLEX)及其研究进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(4): 427-441.
- [10] 符淙斌, 安芷生, 郭维栋. 我国生存环境演变和北方干旱化趋势预测研究(I): 主要研究成果, 地球科学进展[J]. 2005, 20(11): 1157-1167.
- [11] 符淙斌, 安芷生, 郭维栋. 我国生存环境演变和北方干旱化趋势预测研究(II): 研究成果的创新性及项目实施效果[J]. 地球科学进展, 2005, 20(11): 1168-1175.
- [12] 张强, 王胜. 干旱荒漠地区土壤水热特征和地表辐射平衡的年变化研究[J]. 自然科学进展, 2007, 17(2): 211-216.
- [13] 张强, 曹晓彦. 敦煌地区荒漠戈壁地表热量和辐射平衡特征[J]. 大气科学, 2003, 27(2): 247-254.
- [14] Zhang Qiang, Cao Xiaoyan. A study of Surface Heat and Radiation Budget Energy over Gobi in Dunhuang Region, Chinese[J]. J Atmos Sci, 2003, 27(2): 165-176.
- [15] 张强, 王胜. 典型干旱区晴天大气边界层结构及其陆面过程特征[J]. 气象学报, 2008, 66(4): 599-608.
- [16] ZHANG Qiang, ZHANG Jie, QIAO Juan, et al. Relationship of atmospheric boundary layer depth with thermodynamic processes at the land surface in arid regions of China[J]. Science China Earth Sciences, 2011, 54(1): 1-9.
- [17] 周连童. 欧亚大陆干旱/半干旱区感热通量的时空变化特征[J]. 大气科学学报, 2010(33): 299-305.
- [18] 张强, 胡隐樵. 关于我国西北干旱气候的若干问题[J]. 中国沙漠, 2000, 20(4): 357-362.
- [19] Zhang Qiang, Wang Sheng, Li Yanying. The Study of physical mechanism of influence on Atmospheric Boundary Layer depth in Arid Regions of Northwest China[J]. ACTA Meteor Sinica, 2006, 20(s): 1-12.
- [20] 张强, 王胜. 特强沙尘暴(黑风)的形成及其效应[J]. 中国沙漠, 2005, 25(5): 675-681.
- [21] 宋连春, 韩永翔, 张强. 中国沙尘暴时空变化特征及日本、韩国黄沙源地研究[J]. 大气科学, 2004, 28(6): 1-8.
- [22] 周连童, 黄荣辉. 关于我国夏季气候年代际变化特征及其可能成因的研究[J]. 气候与环境研究, 2003(8): 274-290.
- [23] 周连童, 黄荣辉. 中国西北干旱、半干旱区感热的年代际变化特征及其与中国夏季降水的关系[J]. 大气科学, 2008(32): 1276-1288.
- [24] 张强, 王胜, 曾剑. 论干旱区非降水性陆面液态水分分量及其与土壤水分关系[J]. 干旱区研究, 2010, 27(3): 392-400.
- [25] 张强, 李裕, 陈丽华. 当代气候变化的主要特点和重点问题及其应对策略[J]. 中国沙漠, 2011, 31(2): 672-682.

Discussion About Special Function of Land Surface Process and Atmospheric Boundary on Regional Climate in Arid Area of Northwest China

ZHANG Qiang^{1,2}, HUANG Ronghui³, WANG Sheng²

(1. Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction of CMA, Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China; 2. Gansu Provincial Meteorological Bureau, Lanzhou 730020; 3. Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing 100029, China)

Abstract: Land surface process and atmospheric boundary is the important link of the climate system, which have obvious influence on atmosphere and climate. Based on past researches, the special characteristics in four aspects of land surface process and atmospheric boundary in arid area of Northwest China, and six aspects of influence on the weather process and climatic features were analyzed. And four aspects of the important problems that should be focused on in the future in the land surface process and atmospheric boundary science were discussed, and some preliminary think about how to continue development was made.

Key words: arid area in northwest China; land surface process; atmospheric boundary; climate; special function