

陆—气相互作用 对东亚气候的影响

Impacts of Land-Atmosphere Interactions on Climate over East Asia

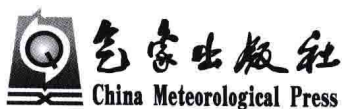
张井勇 吴凌云 著



气象出版社
Chinese Science & Technology Press

陆—气相互作用 对东亚气候的影响

张井勇 吴凌云 著



三、中国与中东国家的能源和经贸关系

中国“走出去”战略在大中东地区面临的石油政治 与地缘政治风险	吴 磊	225
探索中国与海合会国家的经贸关系	陈 沫	252
中阿经贸合作：老问题，新任务	钱学文	273

四、中国与中东国家的文化关系

中国在阿拉伯世界国家形象中的经贸因素	张 宏	刘欣路	301
海合会国家软实力的崛起与中国的文化外交	马丽蓉		320
中东剧变中的国际话语权之争及其对中国的启示	李伟建		339
作者简介			358
索 引			360

前 言

极端天气气候事件,例如干旱、洪涝和高温热浪,严重威胁着经济社会的可持续发展、人民群众的生产生活和生态环境。最近 30 年,全球 86%的重大自然灾害、59%的因灾死亡和 84%的经济损失都是由气象灾害及其衍生灾害导致的。世界气象组织(WMO)2013 年发布的“全球气候 2001—2010 年——气候极端事件十年”报告显示,与 1991—2000 年相比,2001—2010 年因极端天气气候事件致死人数增加了 20%,其中因高温热浪的致死人数增加了 23 倍。我国是世界上受自然灾害最严重的国家之一,气象灾害约占自然灾害的 71%。1991 年至 2009 年,我国平均每年因气象灾害造成约 4000 人死亡,近 4 亿人次受灾,经济损失 2000 多亿元。全球气候变暖背景下,极端气候事件呈多发重发的趋势。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)最近发布的针对极端事件和灾害风险的特别评估报告(IPCC, 2012; <http://ipcc-wg2.gov/SREX/>) 预估,无论对东亚还是全球,高温热浪、干旱、极端强降水事件等都将更频繁地发生,且持续时间和强度也将明显增加。

由于我国气象灾害造成的经济损失和社会影响越来越大,社会对灾害的敏感度越来越高,加之包括我国在内的世界各国季节气候预测的水平都很有限,远不能满足社会、经济和国家安全的需要,因此,提高对影响短期气候异常的关键物理过程和气候可预测性的认识,进而改进季节气候预测水平,已成为国家决策部门和公众密切关注和亟待解决的重大科学问题。

陆地和大气在各种时空尺度发生着复杂的相互作用,调节着界面上的能量、物质和动量交换,从而对气候产生重要影响。陆—气相互

作用研究是当今地学各学科共同关注的前沿领域,也是未来地球系统科学研究的重要突破口。世界气候研究计划(WCRP)、国际地圈生物圈计划(IGBP)、地球系统科学联盟(ESSP)联合计划等重大国际计划都将陆—气相互作用方面的研究列为当前和未来需要推动的重大科学问题。陆面具有在季节及以上时间尺度上“记忆”气候异常的能力,因而对提高短期气候异常预测具有重要作用。但是,与海—气相互作用相比较,目前我们对陆—气相互作用的认识仍非常不足,严重阻碍了短期气候预测水平的提高。

本书主要总结了著者及其同事最近几年来在陆—气相互作用对东亚气候影响方面的最新研究成果,尤其是土壤湿度、土壤温度和植被变化对东亚短期气候异常影响的工作。全书共分为5章:第1章概述了陆—气相互作用对气候影响的研究进展;第2章叙述了土壤湿度—大气相互作用对东亚气候的影响;第3章介绍了土壤温度—大气相互作用对东亚气候的影响;第4章叙述了植被—大气相互作用对东亚气候的影响;第5章则介绍了绿洲效应对局地气候的影响。本书分工如下:张井勇撰写了第1~4章和附录,吴凌云撰写了第5章,全书由张井勇统稿。课题组成员王远皓、张武龙和陈思思参与了部分章节的前期材料整理工作,在此表示感谢。感谢气象出版社的李太宇编辑为本书的出版所做的大量工作。

感谢国家自然科学基金委项目(项目号:41275089;41305071)、科技部国家重大科学研究计划项目(项目号:2012CB955604)、大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室(LASG)专项经费和中国科学院“百人计划”项目对本书研究内容及出版的资助。

著者衷心期望本书的出版能够为陆—气相互作用与短期气候预测研究起到一些推动和借鉴作用。由于时间仓促并限于我们的水平,错漏之处在所难免,敬请有关专家和学者批评指正。

张井勇 吴凌云

2014年3月于中国科学院大气物理研究所

目 录

前 言

第 1 章 陆—气相互作用对气候影响的研究进展	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 陆面对气候反馈作用的研究进展	(1)
参考文献	(4)
第 2 章 土壤湿度—大气相互作用对东亚气候的影响	(9)
2.1 引言	(9)
2.2 土壤湿度—大气耦合的“热点”地区	(10)
2.3 土壤湿度反馈对东亚温度和降水年际变率的影响	(13)
2.4 土壤湿度反馈对中国东部日最高和最低温度的 不对称影响	(20)
2.5 土壤湿度反馈对中国高温热浪的影响	(24)
2.6 土壤湿度反馈对中国东部干旱洪涝的影响	(29)
参考文献	(33)
第 3 章 土壤温度—大气相互作用对东亚气候的影响	(37)
3.1 引言	(37)
3.2 土壤温度反馈对东亚夏季气候的影响	(38)
3.3 春季土壤温度与东亚夏季降水的关系	(40)
参考文献	(46)
第 4 章 植被—大气相互作用对东亚气候的影响	(48)
4.1 引言	(48)
4.2 植被在东亚夏季风预测中的作用	(50)
4.3 植被对中国日最高和最低温度的不对称影响	(59)

2 陆—气相互作用对东亚气候的影响

4.4	动态植被在亚洲区域气候模拟中的作用	(61)
4.5	土地利用变化对中国地表变暖的影响	(66)
	参考文献	(68)
第 5 章	绿洲效应对局地气候的影响	(73)
5.1	引言	(73)
5.2	绿洲效应的动力学分析	(78)
5.3	绿洲效应的观测统计分析	(91)
5.4	绿洲效应对局地气候影响的数值模拟	(107)
	参考文献	(126)
附录：	陆—气相互作用的基本过程及陆面过程模式的发展进程	(132)
附录 1	陆地表面能量平衡过程	(132)
附录 2	陆地表面水分平衡过程	(134)
附录 3	陆地生态系统碳循环	(135)
附录 4	陆面过程模式的发展进程	(136)
	参考文献	(137)

第1章 陆—气相互作用对气候影响的研究进展

1.1 引言

复杂多样、分布极不均匀的陆地下垫面约占整个地球表面积的30%。一方面,陆地表面状况包括土壤湿度、土壤温度、植被、积雪等,随天气和气候的变化而变化。另一方面,自然和人为的陆面状况改变通过影响界面的能量、物质和动量交换进而对局地、区域和全球的天气和气候产生重要影响(Bonan, 2008; Seneviratne *et al.*, 2010; Pielke *et al.*, 2011)。陆—气相互作用研究已成为当今地学各学科共同关注的前沿和热点课题,也是未来地球系统科学研究的重要突破口(叶笃正和符淙斌,1994;曾庆存和林朝晖,2010;黄荣辉等,2011)。世界气候研究计划(WCRP)、国际地圈生物圈计划(IGBP)、地球系统科学联盟(ESSP)联合计划等重大国际计划都将陆—气相互作用方面的研究列为当前和未来需要推动的重大科学问题。本章简要回顾了陆—气相互作用对气候影响的研究进展。陆—气相互作用的基本过程和陆面过程模式的发展进程可参见附录部分。

1.2 陆面对气候反馈作用的研究进展

耦合了陆面模式的全球模式一直以来是研究陆—气相互作用以及土地利用/覆盖变化对气候变化影响的重要工具。Charney(1975)最早利用全球模式模拟研究了陆面过程对气候的影响,开创性地提出

了生物—地球物理反馈机制。随后,国内外很多学者采用全球模式敏感性试验针对陆面过程对气候的影响和相关的物理机制做了大量卓有成效的研究,取得很多重要进展(Shukla and Mintz, 1982; Yeh *et al.*, 1983, 1984; Dickinson and Henderson-Sellers, 1988; 王万秋, 1991; Bonan *et al.*, 1992; 刘永强等, 1992; Xue *et al.*, 1996; 吴凌云和余志豪, 2001; Koster *et al.*, 2004; Feddema *et al.*, 2005; Mahanama *et al.*, 2008; Wei *et al.*, 2010; Dutra *et al.*, 2011)。这些研究普遍表明,陆面状况的改变能够在季节及以上时间尺度上对气候产生重要影响。但是,由于全球模式分辨率低、物理过程参数化方案简单等原因,全球模式模拟陆面反馈的工作在局地 and 区域尺度上存在很大的不确定性(Dirmeyer *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2008; Pitman *et al.*, 2009)。

由于区域气候模式比全球模式有更高精度的空间分辨率,因而能够更好地刻画区域气候变化的细节特征,模拟结果能够更加接近于实测(Dickinson *et al.*, 1989; Giorgi, 1990)。自从 1990 年代以来,区域气候模式已被广泛用来研究陆面反馈对局地和区域气候的反馈作用(Paegle *et al.*, 1996; Giorgi *et al.*, 1996; Schär *et al.*, 1999; Lu *et al.*, 2001; Fu, 2003; Gao *et al.*, 2003; Pielke, 2005; Seneviratne *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2009a, 2011a; Georgescu *et al.*, 2011, 2013; Ge *et al.*, 2014)。在东亚地区,区域气候模式模拟结果表明,陆面状况的改变能够对能量平衡、水循环、表面气候乃至季风环流产生至关重要的影响(符淙斌等, 1996; 吕世华和陈玉春, 1999; 郑益群等, 2002; Zhang and Wang, 2008; Chow *et al.*, 2008; 张井勇和吴凌云, 2011; 张文君等, 2012; 邹靖和谢正辉, 2012; 李崇银等, 2013; Wu and Zhang, 2014)。例如, Zhang 等(2011b)应用美国大气研究中心(NCAR)开发的新一代 WRF 区域模式的长期积分研究了土壤湿度对东亚和我国的气候变率的影响,结果表明,在土壤湿度—大气耦合的“热点”地区,土壤湿度对气候变率的贡献可以达到一半或更多。

动力学分析方法是研究陆—气相互作用的重要手段(曾庆存等, 1994; Pan and Chao, 2001; D'Odorico and Porporato, 2004; 巢纪平

和井字,2012)。它具有可靠的数学物理基础,并可在特定条件下理论上得出重要的定性甚至定量的结论。Charney(1975) 1970 年代利用动力学分析研究了反照率对萨赫勒荒漠化的影响。曾庆存等(1994)建立了一个由草生物量和土壤湿度两个变量组成的草原生态动力学模型,研究了草生物量对降水的依赖关系。曾晓东等(2004)进一步对曾庆存等(1994)建立的两变量模型进行参数扩展,包含了青草生物量、枯落物生物量和土壤湿度三个变量,并结合内蒙古草原的观测事实,进一步改进了模型。曾晓东等(2004)的研究结果表明,产草量与年降水量有对应关系,放牧过度会导致荒漠化。Pan 和 Chao(2001)在能量平衡条件下建立了一个简化的绿洲动力学演化模型,指出绿洲沙漠系统的蒸发率存在多平衡态。Wu 等(2003)进一步加入了低层大气的动力过程,结果表明,绿洲不仅能起到调节温度的作用,而且可以帮助自身的维持和发展。D'Odorico 和 Porporato(2004)利用简化的理论模型研究了夏季土壤湿度动力学过程,结果表明,陆面反馈有利于维持初始土壤湿度对夏季降水的正反馈。

由于陆面观测资料的相对缺乏和陆—气相互作用的复杂性,陆面反馈气候的观测统计研究比较困难。积雪被较早认识到与短期气候异常存在观测统计关系,并被作为季节气候预测的一个前期讯号(Hahn and Shukla, 1976; 郭其蕴和王继琴,1986; Groisman *et al.*, 1994; 陈海山等,2013)。早期的土壤湿度影响气候的观测统计研究主要局限于局地尺度上(Betts *et al.*, 1996; Findell and Eltahir, 1997)。最近的工作通过对观测和其他资料的综合分析,提供了区域到全球尺度的土壤湿度—大气耦合强度分布(Zhang *et al.*, 2008, 2009b; Dirmeyer *et al.*, 2009)。研究还发现土壤温度/地气温差与气候异常存在统计关系,并可以帮助提高季节气候预测技巧(汤懋苍等,1986; Hu and Feng, 2004; 周连童和黄荣辉,2006; Wang *et al.*, 2013)。

在 2000 年代早期,Zhang 等(2003) 和 Kaufmann 等(2003) 分别从观测统计上研究了植被覆盖变化对中国和美国气候的影响,均发现植被反馈对区域气候产生重要影响。最近的 10 年间,许多研究者对不同区域和全球的植被变化对气候的影响做了更深入的观测统计研

究(Liu *et al.*, 2006; Notaro *et al.*, 2006; Los *et al.*, 2006; 华维等, 2008; 吴凌云等, 2011)。Zhang 等(2011b) 最近尝试应用植被信息到东亚夏季风的预测, 回报试验显示与单独应用 ENSO 做预测相比, 加入一个植被指数可以将预测技巧从 33% 提高到 58%。

参考文献

- 巢纪平, 井宇. 2012. 一个简单的绿洲和荒漠共存时距平气候形成的动力理论. 中国科学: 地球科学, **42**: 424-433.
- 陈海山, 齐铎, 许蓓. 2013. 欧亚大陆中高纬积雪消融异常对东北夏季低温的影响. 大气科学, **37**(6): 1337-1347.
- 符淙斌, 魏和林, 郑维忠, 等. 1996. 中尺度模式对中国大陆地表覆盖类型的敏感试验[C]// 全球变化与我国未来的生存环境. 北京: 气象出版社, 286.
- 郭其蕴, 王继琴. 1986. 青藏高原的积雪及其对东亚季风的影响. 高原气象, **5**: 116-123.
- 华维, 范广洲, 周定文, 等. 2008. 青藏高原植被变化与地表热源及中国降水关系的初步分析. 中国科学, **38**: 732-740.
- 黄荣辉, 陈文, 张强, 等. 2011. 中国西北干旱区陆气相互作用及其对东亚气候变化的影响. 北京: 气象出版社, 356pp.
- 李崇银, 刘会荣, 宋洁. 2013. 2009/2010 年冬季云南干旱的进一步研究-前期土壤湿度影响的数值模拟. 气候与环境研究, **18**(5): 551-561.
- 刘永强, 叶笃正, 季劲钧. 1992. 土壤湿度和植被对气候的影响-II 短期气候异常持续性的数值试验. 中国科学 B 辑, **5**: 554-560.
- 吕世华, 陈玉春. 1999. 西北植被覆盖对我国区域气候变化影响的数值模拟. 高原气象, **18**: 416-424.
- 汤懋苍, 尹建华, 蔡洁萍. 1986. 冬季地温分布与春、夏降水相关的统计分析. 高原气象, **5**(1): 40-52.
- 王万秋. 1991. 土壤温湿异常对短期气候影响的数值模拟试验. 大气科学, **15**: 115-123.
- 吴凌云, 余志豪. 2001. 青藏高原潜热感热, 地形高度与我国冬、夏季温度的可能影响. 气象科学, **21**(3): 291-298.
- 吴凌云, 张井勇, 董文杰. 2011. 中国植被覆盖对日最高最低气温的影响. 科学通报, **56**(3): 274.
- 叶笃正, 符淙斌. 1994. 全球变化的主要科学问题. 大气科学, **18**(4): 498-512.
- 曾庆存, 林朝晖. 2010. 地球系统动力学模式和模拟研究的进展. 地球科学进展, **25**: 1-6.
- 曾庆存, 卢佩生, 曾晓东. 1994. 最简化的两变量草原生态动力学模式. 中国科学 B 辑, **24**: 106-112.
- 曾晓东, 王爱慧, 赵钢, 等. 2004. 草原生态动力学模式及其检验. 中国科学 C 辑, **34**:

- 481-486.
- 张井勇, 吴凌云. 2011. 陆-气耦合增加中国的高温热浪. *科学通报*, **56**: 1905-1909.
- 张文君, 周天军, 智海. 2012. 土壤湿度影响中国夏季气候的数值试验. *气象学报*, **70**(1): 78-90.
- 郑益群, 钱永甫, 苗曼倩, 等. 2002. 植被变化对中国区域气候的影响 I: 初步模拟结果. *气象学报*, **60**: 1-15.
- 周连童, 黄荣辉. 2006. 中国西北干旱、半干旱区春季地气温差的年代际变化特征及其对华北夏季降水年代际变化的影响. *气候与环境研究*, **11**: 1-13.
- 邹靖, 谢正辉. 2012. RegCM4 中陆面过程参数化方案对东亚区域气候模拟的影响. *气象学报*, **70**(6): 1312-1326.
- Betts A K, Ball J H, Beljaars A C M. 1996. The land surface-atmosphere interaction: A review based on observational and global modeling perspectives. *Journal of Geophysical Research*, **101**: 7209-7226.
- Bonan G B, Pollard D, Thompson S L. 1992. Effects of boreal forest vegetation on global climate. *Nature*, **359**: 716-718.
- Bonan G B. 2008. *Ecological Climatology*, 2nd ed. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 550 pp.
- Charney J. 1975. Dynamics of deserts and drought in the Sahel. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **101**: 193-202.
- Chow K C, Chan J C L, Shi X L. 2008. Time-lagged effects of spring Tibetan Plateau soil moisture on the monsoon over China in early summer. *International Journal of Climatology*, **28**: 55-67.
- Dickinson R E, Henderson-Sellers A. 1988. Modelling tropical deforestation: A study of GCM land-surface parameterizations. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **114**: 439-462.
- Dickinson R E, Errico R M, Giorgi F, et al. 1989. A regional climate model for the western United States. *Climatic Change*, **15**: 383-422.
- Dirmeyer P A, Koster R D, Guo Z. 2006. Do global models properly represent the feedback between land and atmosphere? *Journal of Hydrometeorology*, **7**: 1177-1198.
- Dirmeyer P A, Schlosser C A, Brubaker K L. 2009. Precipitation, recycling and land memory: An integrated analysis. *Journal of Hydrometeorology*, **10**: 278-288.
- D'Odorico P, Porporato A. 2004. Preferential states in soil moisture and climate dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **101**: 8848-8851.
- Dutra E, Schär C, Viterbo P. 2011. Land-atmosphere coupling associated with snow cover. *Geophysical Research Letters*, **38**: L15707, doi:10.1029/2011GL048435.

- Feddema J J, Oleson K W, Bonan G B, *et al.* 2005. The importance of land cover change in simulating future climates. *Science*, **310**:1674-1678.
- Findell K L, Eltahir E A B. 1997. An analysis of the soil moisture-rainfall feedback, based on direct observations from Illinois. *Water Resources Research*, **33**: 725-735.
- Fu C. 2003. Potential impacts of human-induced land cover change on East Asia monsoon. *Global and Planetary Change*, **37**: 219-229.
- Gao X, Luo Y, Lin W, *et al.* 2003. Simulation of effects of land use change on climate in China by a regional climate model. *Advances in Atmospheric Sciences*, **20**:583-592.
- Ge Q, Zhang X, Zheng J. 2014. Simulated effects of vegetation increase/decrease on temperature changes from 1982 to 2000 across the Eastern China. *International Journal of Climatology*, **34**: 187-196.
- Georgescu M, Moustauoui M, Mahalov A, *et al.* 2013. Summer-time climate impacts of projected megapolitan expansion in Arizona. *Nature Climate Change*, **3**: 37-41.
- Georgescu M, Lobell D B, Field C B. 2011. Direct climate effects of perennial bioenergy crops in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **108**:4307-4312, doi:10.1073/pnas.1008779108.
- Giorgi F. 1990. Simulation of regional climate using a limited area model nested in general circulation model. *Journal of Climate*, **3**: 941-963.
- Giorgi F, Mearns L O, Shields C, *et al.* 1996. A regional model study of the importance of local versus remote controls of the 1988 drought and the 1993 flood over the central United States. *Journal of Climate*, **9**: 1150-1162.
- Groisman P Y, Karl T R, Knight R W. 1994. Observed impact of snow cover on the heat-balance and the rise of continental spring temperatures. *Science*, **263**: 198-200.
- Hahn D J, Shukla J. 1976. An apparent relation between Eurasian snow cover and Indian monsoon rainfall. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **33**: 2461-2462.
- Hu Q, Feng S. 2004. A role of the soil enthalpy in land memory. *Journal of Climate*, **17**: 3633-3643.
- Kaufmann R K, Zhou L, Myneni R B, *et al.* 2003. The effect of vegetation on surface temperature; A statistical analysis of NDVI and climate data. *Geophysical Research Letters*, **30** (22):2147, doi:10.1029/2003GL018251.
- Koster R D, Dirmeyer P A, Guo Z, *et al.* 2004. Regions of strong coupling between soil moisture and precipitation. *Science*, **305**: 1138-1140.
- Liu Z, Notaro M, Kutzbach J, *et al.* 2006. Assessing global vegetation-climate feedbacks from observations. *Journal of Climate*, **19**: 787-814.
- Los S O, Weedon G P, North P R J, *et al.* 2006. An observation-based estimate of the strength of rainfall-vegetation interactions in the Sahel. *Geophysical Research Letters*, **33**:

- L16402, doi:10.1029/2006GL027065.
- Lu L, Pielke R A, Liston G E, *et al.* 2001. Implementation of a Two-Way Interactive Atmospheric and Ecological Model and Its Application to the Central United States. *Journal of Climate*, **14**: 900-919.
- Mahanama S P P, Koster R D, Reichle R H, *et al.* 2008. Impact of subsurface temperature variability on surface air temperature variability: An AGCM study. *Journal of Hydrometeorology*, **9**: 804-815, doi:10.1175/2008JHM949.1.
- Notaro M, Liu Z, Williams J W. 2006. Observed vegetation climate feedbacks in the United States. *Journal of Climate*, **19**: 763-786.
- Paegle J, Mo K C, Nogues-Paegle J. 1996. Dependence of simulated precipitation on surface evaporation during the 1993 United States summer floods. *Monthly Weather Review*, **124**: 345-361.
- Pan X, Chao J. 2001. The effects of climate on development of ecosystem in oasis. *Advances in Atmospheric Sciences*, **18**(1): 42-18.
- Pielke R A. 2005. Land use and climate change. *Science*, **310**: 1625-1626.
- Pielke, Sr R A, Pitman A, Niyogi D, *et al.* 2011. Land use/land cover changes and climate: Modeling analysis and observational evidence. *Climate Change*, **2**: 828-850, doi: 10.1002/wcc.144.
- Pitman A J, Noblet-Ducoudré N de, Cruz F T, *et al.* 2009. Uncertainties in climate responses to past land cover change: First results from the LUCID intercomparison study. *Geophysical Research Letters*, **36**: L14814, doi:10.1029/2009GL039076.
- Schär C, Lüthi D, Beyerle U, *et al.* 1999. The soil-precipitation feedback: A process study with a regional climate model. *Journal of Climate*, **12**: 722-741.
- Seneviratne S I, Lüthi D, Litschi M, *et al.* 2006. Land-atmosphere coupling and climate change in Europe. *Nature*, **443**: 205-209, doi:10.1038/nature05095.
- Seneviratne S I, Corti T, Davin E L, *et al.* 2010. Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews*, **99**: 125-161, doi:10.1016/j.earscirev.2010.02.004.
- Shukla J, Mintz Y. 1982. Influence of land-surface evapotranspiration on the Earth's climate. *Science*, **215**: 1498-1501.
- Wang Y, Chen W, Zhang J, *et al.* 2013. Relationship between soil temperature in May over Northwest China and the East Asian summer monsoon precipitation. *Acta Meteorologica Sinica*, **27**(5): 716-724, doi:10.1007/s13351-013-0505-0.
- Wei J, Dirmeyer P A, Zhang J. 2010. Land-caused uncertainties in climate change simulations: A study with the COLA AGCM. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **136**: 819-824, doi:10.1002/qj.598.
- Wu L, Chao J, Fu C, *et al.* 2003. On a simple dynamics model of interaction between oasis

- and climate. *Advances in Atmospheric Sciences*, **20**(5):775-780.
- Wu L, Zhang J. 2014. Strong subsurface soil temperature feedbacks on summer climate variability over the arid/semi-arid regions of East Asia. *Atmospheric Science Letters*, **15**; doi: 10.1002/asl2.504.
- Xue Y. 1996. The impact of desertification in the Mongolian and the inner Mongolian grass-land on the regional climate. *Journal of Climate*, **9**:2173-2189.
- Yeh T C, Wetherald R, Manabe S. 1983. A model study of the short-term climatic and hydro-logic effects of sudden snow-cover removal. *Monthly Weather Review*, **111**: 1013-1024, doi:10.1175/1520-0493.
- Yeh T C, Wetherald R T, Manabe S. 1984. The effect of soil moisture on the short-term climate and hydrology change-A numerical experiment. *Monthly Weather Review*, **112**:474-490.
- Zhang J, Cha D-H, Lee D-K. 2009a. Investigating the role of MODIS leaf area index and vege-tation-climate interaction in regional climate simulations over Asia. *Terrestrial, Atmos-pheric and Oceanic Sciences*, **20**: 377-393.
- Zhang J, Dong W, Fu C, *et al.* 2003. The influence of vegetation cover on summer precipitati-on in China; a statistical analysis of NDVI and climate data. *Advances in Atmospheric Sci-ences*, **20**: 1002-1006.
- Zhang J, Wang W-C. 2008. Diurnal-to-seasonal characteristics of surface energy balance and temperature in East Asia summer monsoon simulations. *Meteorology and Atmospheric Physics*, **102**: 97-112.
- Zhang J, Wang W-C, Wei J. 2008. Assessing land-atmosphere coupling using soil moisture from the Global Land Data Assimilation System and observational precipitation. *Journal of Geophysical Research*, **113**: D17119, doi:10.1029/2008JD009807.
- Zhang J, Wang W-C, Wu L. 2009b. Land-atmosphere coupling and diurnal temperature range over the contiguous United States. *Geophysical Research Letters*, **36**: L06706, doi: 10.1029/2009GL037505.
- Zhang J, Wu L, Dong W. 2011a. Land-atmosphere coupling and summer climate variability over East Asia. *Journal of Geophysical Research*, **116**: D05117, doi: 10.1029/2010JD014714.
- Zhang J, Wu L, Huang G, *et al.* 2011b. The role of May vegetation greenness on the south-eastern Tibetan Plateau for East Asian summer monsoon prediction. *Journal of Geophys-ical Research*, **116**: D05106, doi:10.1029/2010JD015095.

第2章 土壤湿度—大气相互作用对东亚气候的影响

2.1 引言

土壤湿度是陆—气相互作用中的一个关键因子,影响着气候系统中的很多过程与反馈。它不仅与能量和水循环密切相关,而且影响着地球生物化学循环,包括碳循环(Koster *et al.*, 2004; Seneviratne *et al.*, 2006, 2010; Zhang *et al.*, 2008a)。土壤湿度与其他的陆面变量包括土壤温度、植被、积雪等之间存在复杂的相互作用(孙菽芬, 2005; 孙照渤等, 2010)。例如,土壤湿度通过影响植被的供水从而调节植物叶片的气孔开闭,进而影响植被的光合作用和蒸腾,从而改变碳循环和水循环。土壤湿度的记忆可以达数月,因而对月到年际尺度的短期气候预测有至关重要的影响。

土壤湿度调节着表面的潜热交换,因而影响感热,进而影响局地温度。另外,土壤湿度也能够通过影响云、大气水汽、地表反照率、地面长波发射率等进而影响地表温度。例如,土壤水分的增加会降低地表反照率,进而增加吸收的太阳短波辐射,导致地表升温。土壤湿度不仅改变局地的水循环,而且影响着外部传输进来的水汽是否能够形成降水。土壤湿度反馈还可以改变大气环流状况,进而对区域乃至全球的气候产生重要作用。国内外许多研究者已经利用全球模式模拟(Shukla and Mintz, 1982; Yeh *et al.*, 1984; Douville, 2004; 郭维栋等, 2007; Wei *et al.*, 2010; 陈海山和周晶, 2013)、区域模式模拟(Schär *et al.*, 1999; Seneviratne *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2008b;

Chow *et al.*, 2008; 张文君等, 2012; 李崇银等, 2013)、观测统计 (Zhang *et al.*, 2008a; Betts, 2009; Dirmeyer *et al.*, 2009; Wu and Zhang, 2013a)等方法对土壤湿度—大气相互作用做了研究,表明土壤湿度在各种时空尺度上对大气产生重要影响。本章主要介绍了我们利用观测统计和长期区域气候模式模拟研究土壤湿度反馈影响东亚短期气候变化的成果。

2.2 土壤湿度—大气耦合的“热点”地区

2.2.1 辨别土壤湿度—大气耦合关键区的重要性

海—气相互作用具有典型的区域特征,在某些关键区域或“热点”地区,海—气相互作用尤为强烈,从而对气候变化产生更重要的影响。例如,中东赤道太平洋的海表温度异常变暖或变冷,会形成著名的厄尔尼诺或拉尼娜现象。海洋上的 ENSO(厄尔尼诺和南方涛动)循环是目前季节气候预测最重要的因子。陆地上是否也有类似于海—气相互作用的“热点”地区存在? 由于陆面具有在季节及以上时间尺度上记忆气候异常的功能,辨明这样的“热点”地区无疑对提高季节气候预测水平有非常重要的意义。

2.2.2 全球陆—气耦合试验

由于土壤湿度是最关键的一个陆面因子,土壤湿度—大气耦合通常也被称为陆—气耦合。由全球能量和水循环计划(GEWEX)支持下的全球陆—气耦合试验(以下简称GLACE)第一次提供了多个全球大气环流模式(AGCM)平均的夏季土壤湿度—降水耦合“热点”分布图(图 2.1)(Koster *et al.*, 2004)。GLACE 估计的陆—气耦合的“热点”位置主要呈现在气候过渡带地区,包括美国中部、非洲撒赫勒(Sahel)地区、赤道非洲和印度。另外,南美、中亚和中国也有陆—气耦合相对较强的区域出现。GLACE 的研究成果被世界气候研究计划(WCRP)列为 2005—2009 年的成就亮点之一。但是,参加 GLACE 的 12 个模