

土壤含水量改变对气候影响的数值模拟

郭亚娜¹, 潘益农²

1. 江苏海事职业技术学院航海技术系, 南京 211170
2. 南京大学大气科学学院中尺度灾害性天气教育部重点实验室, 南京 210093

摘要 中国南北方水土资源配置不合理, 南方水多耕地少, 北方水少耕地多。南水北调工程通过跨流域的水资源合理配置, 大大缓解北方水资源严重短缺问题。本文用两层嵌套的中尺度气象模式 MM5 及其耦合的陆面过程模式, 研究调水对局地气象环境的影响。研究表明, 实施南水北调后, 春季和夏季北方地区土壤含水量增加、累积降水量增加, 地表温度降低。夏季的土壤含水量、地表温度、累积降水量的变化幅度明显大于春季。另外干燥的土壤环境条件, 对气象环境的改变更明显。春季和夏季土壤含水量变化的区域、地表温度的降低的地区都不只局限于南水北调受水区, 而是散布到周边地区。另外还可以看出, 在土壤含水量未改变的地区有明显的降雨量增加, 最大降雨量增加区域与土壤水份的变化中心区域不重合。

关键词 南水北调; 土壤湿度; 局地气象环境; 数值模拟

中图分类号 P435

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.31.008

Numerical Simulation of Soil Moisture Variation on Climate

GUO Yana¹, PAN Yinong²

1. Department of Navigation Technology, Jiangsu Maritime Institute, Nanjing 211170, China
2. Key Laboratory of Mesoscale Severe Weather, Ministry of Education, Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China

Abstract Water resource appears the serious region difference between southern and northern part of China. The northern part belongs to the dry region which water is hard up; however, the supply exceeds demand that is the character of water resources in the southern part. Along with the economical development and the climatic fluctuation, the contradiction between the supply and demand for water resource in the northern part is gradually becoming serious, since 1980s. The trend of climatic fluctuation is represented by the decreasing precipitation and increasing temperature. The economical loss and the environmental degeneration become more obvious than ever before. The drought affects people's life and work seriously. Water transportation from south part to north part of China is a valid measure to resolve this problem. Through water transportation from south to north part of China, the contradiction involving water shortage could be solved. It could improve environment and accelerate the speed of social development. The change of soil moisture that influences on the local environment of meteorology is researched. The mode of MM5 is used to simulate, and the Oregon State University Land Surface Model(OSULSM) is selected as the land surface mode. It could be found that for the different seasons, with same amount of the initial soil moisture increasing, there is different range of increasing on the seasonal average soil moisture, and it is corresponding with the different range of changing on the precipitation and the ground temperature. For different seasons, with the same variety of soil moisture, the change is larger in the summer than that in the spring in terms of precipitation and the ground temperature.

Keywords water transportation; soil moisture; local environment; numerical simulation

0 引言

中国华北和西北普遍缺水, 限制了该区经济的发展和人

民生活水平的提高。而南方水资源丰富, 大量水资源没有被利用就流入大海。南水北调工程通过跨流域的水资源合理配

收稿日期: 2011-07-11; 修回日期: 2011-10-25

作者简介: 郭亚娜, 讲师, 研究方向为航海气象、区域气候, 电子信箱: gynxz@163.com

置,大大缓解北方水资源严重短缺问题,促进调入地区的社会经济发展,城市用水主要是饮用水,南水北调后当地的地下水开采会明显减少,从而间接影响土壤含水量。农村用水部分将主要用于灌溉,这会使土壤含水量增加,并在一定程度上改变气候。南水北调的气候效应是人们一直关心的热点问题,赵鸣^[1]用简单的能量和水平衡模式,研究在中国北方土壤中水份含量增加后,通过辐射、对流、蒸发等过程的相互作用后产生的局地降雨和温度的变化;郑益群^[2]在区域气候模式中引入土壤湿度扰动得到降雨的变化不仅限于局地,而且散布到周边地区;郭亚娜等^[3]用两层嵌套的中尺度气象模式MM5及耦合的陆面过程模式研究了南水北调工程在春季调水对中国北方的气候和生态环境方面的影响。Rowntree等^[4]用欧洲中心模式试验了降雨异常对土壤含水量异常的敏感性,模式积分一个月,潮湿的土壤相应更多的降雨;张耀存^[5]用数值模式研究下垫面的气候效应。研究表明,土壤含水量的改变在一定程度上会对局地 and 区域气候产生影响。尽管国内外的很多学者^[7-11]都对土壤含水量的改变对气候的影响做了大量工作,但是考虑不同季节的调水对中国北方的气候和生态环境方面的影响的还很少。本文用两层嵌套的中尺度气象模式MM5及其耦合的陆面过程模式,研究春季和夏季相同的调水对局地气象环境的影响;另外还研究了同一个季节,不同的土壤条件时调水对气候和生态环境的影响。

1 模式介绍和实验方案

1.1 大气模式介绍

MM5模块控制方程为非静力平衡原始方程,垂直结构为 σ 坐标, $\sigma = \frac{p_0 - p_1}{p_s - p_1}$, p_0 为参考态气压, p_s 为地面气压, p_1 为模式顶气压。要素的垂直分布是:温度(T),风速(U, V),比湿(q)写在半层上,垂直速度写在整层上,要素的水平分布是:标量(T, q 等)定义在网格的交叉点上,矢量(U, V)定义在格点上。

模式的控制方程采用Dudhia^[6]给出的非流体静力模式方程组。

1.2 陆面过程模式介绍

在两层嵌套的中尺度气象模式MM5中采用的陆面过程模式是俄勒冈州立大学陆面过程模式(the Oregon State University Land Surface Model, OSULSM), OSULSM包括一个植被层,4个土壤层。4层的厚度依次是0.1, 0.3, 0.6和1.0m,总的土壤厚度是2m。上面1m厚的土壤是根系层,因此,下面的1m厚的土壤层实际上像一个在底部只有重力排泄作用的储存器,植被根系的深度是植被类型的函数。

图1给出了模拟的粗网格和细网格区域的分布。粗网格格点数是50×50,格距为60km,细网格区域格点数为40×40,格距为20km。细网格区域包括北京、天津、河北、山东、山西,这些地区属缺水地区,也是南水北调中线和东线工程调入水的区域。

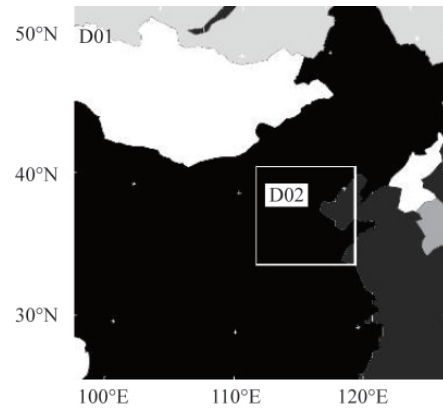


图1 模拟区域示意

Fig. 1 Model domain

大气和陆面模式的初始场和侧边界条件均从国家环境预报中心(National Center for Environmental Prediction, NCEP)的再分析资料中获得,分别从3月和6月开始积分90d,然后根据模式输出的量计算季节平均的温度和累积降雨量。设计了两个试验,一个是控制试验,在其中土壤含水量直接由NCEP资料提供,另一个试验是敏感性试验,采取的方式为在细网格区域即受水区的4层土壤含水量在初始时刻均一次性增加 $0.05\text{m}^3/\text{m}^3$,土壤含水量的增加是调水的结果。

2 模拟结果分析

比较控制实验中春季和夏季平均第一层(表层)土壤含水量分布特征,可见夏季在长江流域的土壤含水量基本在 $0.30\text{—}0.35\text{m}^3/\text{m}^3$ 之间,大于同样位置的春季的 $0.23\text{—}0.30\text{m}^3/\text{m}^3$;夏季华北地区的土壤水含量($0.15\text{—}0.20\text{m}^3/\text{m}^3$)小于春季的($0.20\text{—}0.25\text{m}^3/\text{m}^3$)。其他地区的土壤水含量分布与春季的基本一致。

在敏感性试验的初始场中,本文把细网格区域中的4层土壤含水量都增加 $0.05\text{m}^3/\text{m}^3$,然后春季和夏季分别积分3个月,用模式输出结果来分析土壤含水量和降雨及气温的平均改变状况。

2.1 土壤含水量

调水后从土壤含水量增加的数值来看(图2和图3),春季和夏季的各个层的土壤含水量均有所增加,增加基本在 $0.03\text{m}^3/\text{m}^3$ 范围内,个别地区较大的达到 $0.05\text{m}^3/\text{m}^3$,夏季平均土壤含水量增加的数值大于春季。

2.2 地表温度

由图4可知,调水后春季和夏季地表温度均有所下降,春季变化最大的地区在山东省西南部分、天津、河北省及吉林省北部地区,温度变化最大值是 0.45°C 。在山西省及整个山东半岛温度的减小最大达到 0.3°C 。夏季温度变化最大的峰值在山东半岛中北部及内蒙古、河北省、山西省的交界处,温度的降低达到了 1.2°C ,从最大变化数值上来看,夏季明显大于春季同种条件下温度降低的幅度。

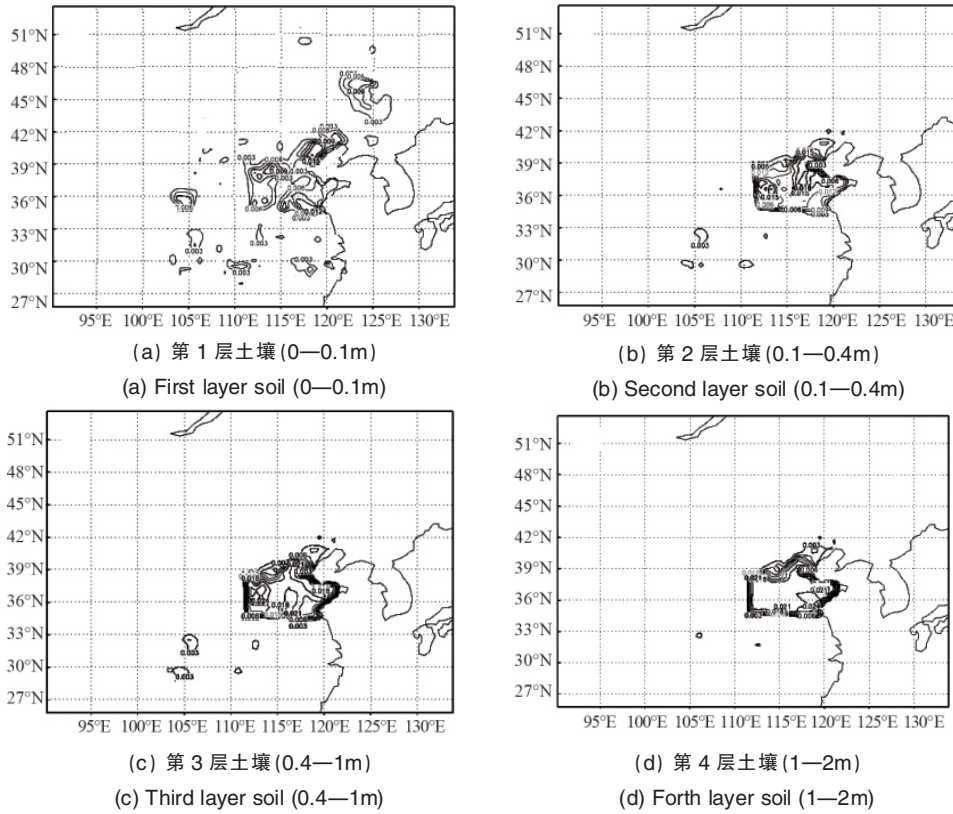


图 2 春季初始值增加 $0.05\text{m}^3/\text{m}^3$ 后 3 个月平均的土壤含水量改变 (粗网格区域) (单位: m^3/m^3)

Fig. 2 Soil moisture difference between sensitive experiments (SE) and controlled experiments (CE) in the spring (coarse grid) (unit: m^3/m^3)

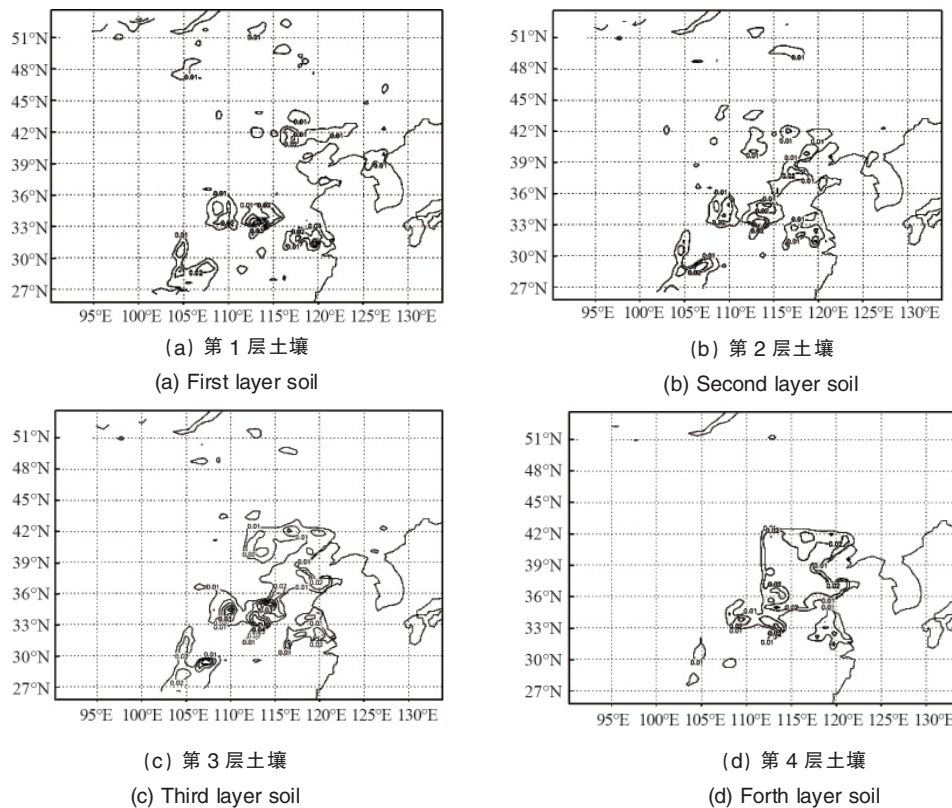


图 3 夏季初始值增加 $0.05\text{m}^3/\text{m}^3$ 后 3 个月平均的土壤含水量改变 (粗网格区域) (单位: m^3/m^3)

Fig. 3 Soil moisture difference between SE and CE in the summer (coarse grid) (unit: m^3/m^3)

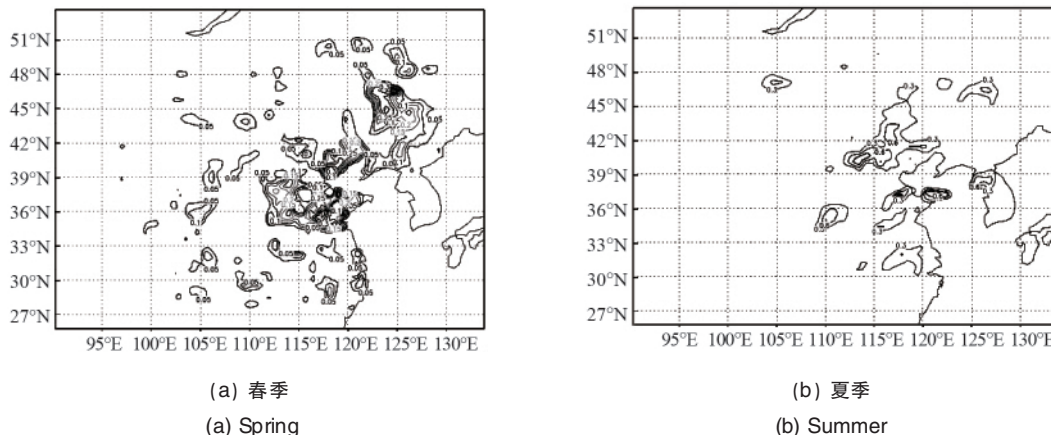


图 4 土壤含水量增加 $0.05 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 后,地表温度的改变 (单位:K)
Fig. 4 Ground temperature difference between SE and CE (unit: K)

2.3 降雨量

由图 5 可知,春季整个区域的降雨量都增加,降雨量增加较大的地区位于山东省的西北部、湖北省襄樊附近、四川省的中北部地区以及黑龙江省、吉林省和内蒙古的交界处,降雨量增加的数值在 4cm 左右。在湖北省西部、重庆东部、甘肃省会宁县、青海省兴海县、浙江省东部、江苏省南通市及附近的黄海海域、河北省中部部分地区、陕西省北部、江苏省苏北、内蒙古的北部地区降雨量都有不同程度的增加。

从图 5 还可知,夏季整个区域的降雨量也都增加,降雨量增加较大的地区位于湖北省北部、浙江省北部以及河南省、山东省、陕西省的交界,降雨量增加最大值是 24cm。在浙江省、河北省、内蒙古、东北三省的部分地区、山西省以及四川省的部分地区等地降雨量有相对较大的增加,最大增加值

达到 12cm。可以看出,夏季降雨量改变的数值明显高于春季。

从土壤含水量发生变化的地区来看,春季和夏季土壤含水量变化的区域都不只局限于南水北调受水区, 研究中发现,地表温度的降低的地区不仅局限于土壤含水量改变的区城,而是散布到周边地区。另外,还可以看出降雨量的增加也是不仅出现在土壤含水量改变的地区,在土壤含水量未改变的地区有明显的降雨量增加,最大降雨量增加区域与土壤水份的变化中心区域不重合。这是蒸发和大气环流的结果,蒸发到大气中的水气,随着平流运动到调水以外的区域,从而影响调水区周边的大气环境。

夏季土壤含水量变化的范围大于春季,越靠近表层,土壤含水量改变的区域越大,这是夏季的蒸发比春季强烈所致。干燥的土壤环境条件,对气象环境的改变更明显。

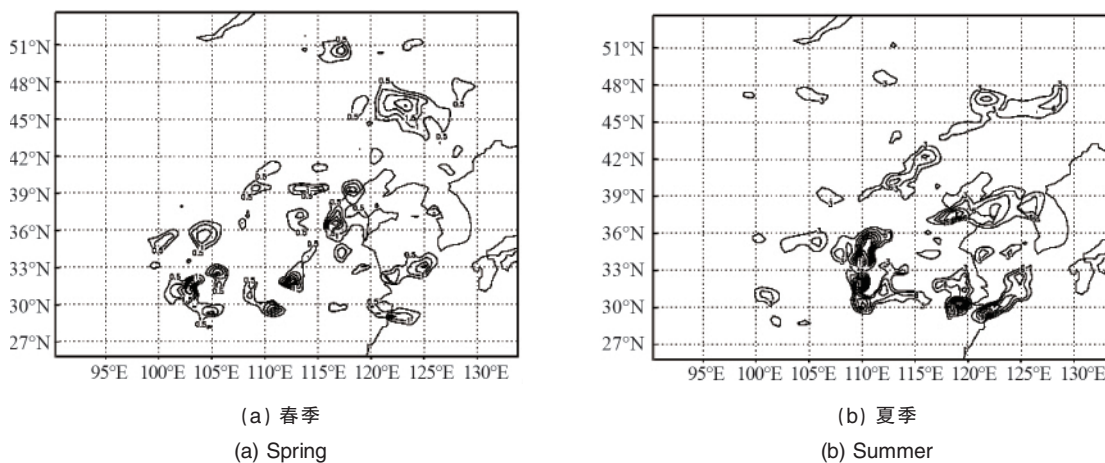


图 5 土壤含水量增加 $0.05 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 后,降雨量的改变 (单位:cm)
Fig. 5 Rainfall difference between SE and CE (unit: cm)

3 不同初始土壤水的数值模拟

为简单实用起见,在以上的敏感性数值试验中,初始时刻土壤含水量是在 NCEP 资料土壤含水量的基础上加上 $0.05 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 得到的,其他条件都和控制试验相同。因此,初始时

刻的土壤含水量与本文选择的初始时刻有关,为了分析初始时刻的土壤含水量的影响,从 3 月中选择一个土壤比较干燥(3月6日)和比较潮湿(3月2日)的时刻作为初始场,用以上的方法,重新进行敏感性试验,图 6 是用 1997 年 3 月 2 日第

一层土壤含水量减去3月6日相应土壤含水量得到的(控制试验,细网格区域)。可以看到3月6日第一层的土壤含水量比3月2日的第一层土壤含水量低,在山东省沂源县、山西省北部以及河南省南部土壤水差别相对较大,在 $0.025\text{--}0.03\text{m}^3/\text{m}^3$ 范围内,其他地区的土壤水含量差别变化基本在 $0.02\text{m}^3/\text{m}^3$ 范围内。通过模拟发现,当初始土壤含水量相对较少的时候,给出同样的调水量,季节平均的土壤含水量增加的幅度更大。降雨量也出现了较大的增加,由原来的最大增加4cm到最大增加5cm,比土壤含水量大的情况下增加的幅度大,温度的减低幅度相对也有增加,由原来的最大降低 0.6°C 变为最大降低 0.8°C 。

