

# 通用陆面模型 CLM3.0 在冬小麦-夏玉米农田的 参数化方案改进 ——以海河平原的 3 个试验站为例

刘鑫 任理\*

(中国农业大学 资源与环境学院,北京 100193)

**摘要** 为了准确模拟冬小麦-夏玉米种植制度下的农田土壤墒情,本研究改进通用陆面模型 CLM3.0 的参数化方案,包括灌溉措施及作物种植制度参数化的加入、土壤厚度及土壤层的剖分修改、作物水文及土壤水文过程的一些参数化修改、考虑作物的株高变化等,在海河平原的 3 个农业观测试验站(东北旺、栾城、洪门)验证改进后的模型的适用性。结果表明:改进后的 CLM3.0 模型在冬小麦和夏玉米种植制度下的农田具有较好的适用性,可以抓住各层土壤湿度的变化,与改进前的模型相比,其土壤墒情模拟精度明显提高,2 m 土体土壤湿度的均方根误差在东北旺、栾城和洪门试验站分别减少了 45.2%、47.1%和 51.5%。

**关键词** 通用陆面模型; 冬小麦-夏玉米; 种植制度; 农田灌溉; 参数化方案; 土壤墒情

**中图分类号** S 512.1<sup>+</sup>1; S 513

**文章编号** 1007-4333(2013)01-0046-07

**文献标志码** A

## Improved parameterization schemes of winter wheat-summer maize land model: Three experiment stations in Haihe river plain for example

LIU Xin, REN Li\*

(College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

**Abstract** Land surface model provides with a good way for monitoring regional farmland soil moisture. The improved parameterization scheme of winter wheat-summer maize farmlands in the model is critical for accurately simulating soil moisture of the agricultural regions. This study focuses on prediction of soil moisture and presents the improved solutions. In particular, we incorporated the parameterizations of irrigation and winter wheat-summer maize cropping regimes, reselected total soil depth and the depths of the nodes of the different soil layers, modified the vegetation and soil hydrology parameterizations and replaced the invariant parameters of canopy top and bottom heights with crop morphological data. Subsequently, to assess the performance of these modifications, a set of offline simulations were carried out at three agricultural experiment stations (Dongbeiwang/Luancheng/Hongmen) in Haihe river plain. The results showed that the improved CLM3.0 model had better applicability in winter wheat-summer maize cropland, and could capture well the major characteristics of the observed total variations of soil moisture. In comparison with simulated soil moisture before model improvements, the root mean square errors decreased by 45.2%, 47.1% and 51.5% at Dongbeiwang, Luancheng and Hongmen Experiment Stations respectively.

**Key words** community land model; winter wheat-summer-maize; cropping system; farmland irrigation; parameterization scheme; soil moisture

收稿日期: 2012-03-13

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2010CB951102); 公益性行业(农业)科研专项(201203031)

第一作者: 刘鑫, 博士研究生, E-mail: queerjisheng@163.com

通讯作者: 任理, 教授, 主要从事土壤物理学和农业水文学研究, E-mail: renl@mx.cei.gov.cn

土壤墒情的监测对于生态建设和农业生产具有重要的意义,陆面模型为区域土壤墒情的监测提供了很好的途径,目前国内外有不少应用陆面模型模拟区域土壤墒情的研究<sup>[1-6]</sup>。通用陆面模型 CLM3.0 是 NCAR/CCSM (Community Climate System Model) 的陆面模式部分,它综合了之前的陆面模式 BATS、LSM 等的优点,是目前世界上发展最为完善而且最具潜力的陆面过程模式之一<sup>[7-8]</sup>。然而,CLM3.0 模型多用于自然植被区,关于农作物的参数化方案较粗糙,且没有农业管理措施的参数化方案<sup>[9]</sup>,不能合理地表达海河平原常见的冬小麦和夏玉米种植制度下的农田的土壤水文及植被水文过程。为了准确模拟该农业地区土壤墒情,改进通用陆面模型 CLM3.0 在冬小麦和夏玉米种植制度下的农田的参数化方案至关重要。

目前国内外已有 CLM 模型在农田参数化方案改进的研究,De Lannoy 等<sup>[10]</sup>运用 CLM 模型模拟小块玉米农田的地表水热过程,其中根据实际的土壤观测数据,修改模型默认的土壤分层,即将 3.43 m 土体改为 2 m,土体的结点剖分也相应改变;Sacks 等<sup>[11]</sup>在 CLM 模型中加入了灌溉措施的参数化方案,将其与 CAM 大气模型耦合,探讨灌溉措施对全球气候的影响,但是由于实际灌溉资料的限制,其参数化方案较粗糙,灌溉时间由 LAI 数据确定(即当 LAI>80%时开始灌溉),且灌溉时间无年际变化,灌溉量也是粗略估计值。而根据农田区实际灌溉资料、冬小麦和夏玉米种植制度及生态、地理特征综合改进通用陆面模型 CLM3.0 的相关参数化方案的文献还未见报道。

本研究基于冬小麦-夏玉米灌溉农田实际特征,改进通用陆面模型 CLM3.0 的参数化方案,包括灌溉措施及冬小麦和夏玉米种植制度参数化的加入、土壤厚度及土壤层的剖分修改、作物水文及土壤水文过程的一些参数化修改、考虑作物的株高变化等,接着在海河平原的 3 个农业观测试验站验证改进后的模型适用性,旨在完善通用陆面模型在冬小麦-夏玉米灌溉农田的参数化方案,以期准确模拟该农业地区土壤墒情,为开展农事服务、农业干旱监测预警、农业遥感及产量预测提供重要依据。

## 1 通用陆面模型的参数化改进方案介绍

### 1.1 模型简介

NCAR (National Center for Atmospheric

Research) 陆面模式 (Community Land Model, CLM3.0)<sup>[8-9]</sup>是在汲取了 BATS、中国科学院大气物理研究所陆面过程模型和 NCAR 陆面过程模型 LSM 的精华的基础上,采众家之长而发展的第 3 代陆面过程模型。CLM3.0 是三维的模拟水分、能量及动量在大气和陆地之间相互作用的过程机理模型,它可以模拟一个像元到全球范围内的地气之间的生物地球物理和水文过程的复杂作用,它可以单独运行也可以耦合到其他大气模式中,是研究地气之间水分、能量、动量等地理过程作用、因子响应和环境变化机制的有效工具。

CLM3.0 模型在水平方向上,考虑了网格内的异质性,一个网格内的植被类型可以为任意多种,通量等计算根据各类型所占面积比例线性加权后得出;在垂直方向上,将土壤划分为 10 层,利用能量和水量平衡方程来模拟土壤的湿度和温度变化情况,同时对积雪和冻融过程描述完整(将积雪划分为 5 层);耦合了汇流过程,利用 TOPMODEL 的理念来进行径流的参数化;添加了能够更加准确地反映植物光合作用和气孔导度的二叶模型。更为重要的是,在模型设计时,设计者使它具有了这样一些属性:1)模型的核心部分可以用田间的点数据来进行验证;2)从 NASA 卫星获得的最新的边界条件的数据能够被模型所吸收利用;3)最新的关于尺度问题的理论能够被模型所采用。

CLM3.0 模型模拟陆面生物地球物理过程和水文过程包括植被水文过程、土壤和积雪水文过程、土壤和积雪的热传递过程、气孔生理和光合作用过程、植被冠层物理过程、太阳辐射及长波辐射的物理变化过程等,可以模拟土壤湿度、土壤温度和植被温度等水热状态变量,可以模拟植被冠层蒸发、植被蒸腾、土壤蒸发、地表径流和基流等水文循环变量,也可以提供表面反照率(可见光和红外光波段的直射和散射光)、向上长波辐射、感热通量、潜热通量及水汽通量等大气模式所需要的量。

模型的输入数据包括两类,分别是气象数据与地表特征数据。其中,气象数据包括地表气压、气温、入射太阳辐射、比湿、风速和降水量。模型用于描述地表特征的有 4 类参数:地表覆盖类型、植被参数、土壤质地及土壤颜色,模式中默认的植被覆盖类型采用 NCAR 植被功能型分类系统(共分 17 类,其中作物为 2 类,但是在实际应用中,所有作物统一作为 1 类植被处理),植被参数是指叶面积指数、茎面

积指数,土壤质地具体是指土壤层的砂粒及粘粒百分含量,土壤颜色与 BATS 相同(由深到浅分为 8 类)。土壤参数包括土壤的热/水力传导和扩散系数、干土壤的土壤热容、干土壤的热传导率、孔隙度、饱和的负压土壤水势、饱和土壤导水率以及 Clapp & Hornberger<sup>[12]</sup>定义的指数 B,由对应土壤层的砂粒、粘粒百分含量公式换算得到,土壤含水率由 Richard 方程求解得到,具体的计算过程参见 Oleson 等<sup>[9]</sup>的文献。

## 1.2 模型的参数化方案改进

本研究基于农田实际灌溉资料、冬小麦和夏玉米种植制度及生态地理特征,改进通用陆面模型 CLM3.0 的相关参数化方案,具体如下:

### 1.2.1 土壤厚度及土壤层的剖分修改

由于农田土壤数据的观测一般在 2 m 土体内,本研究用到的 3 个农业试验站的土壤数据均在 2 m 土体内,为了研究的方便性及模拟结果对比的一致性,这里将模型默认的 3.43 m 土壤厚度改为 2 m,同时改动对应 10 层的土壤节点深度,10 层土壤节点深度由原来的 0.71、2.79、6.23、11.89、21.22、36.61、61.98、103.80、172.76 和 286.46 cm 分别改为 2.5、5、10、20、40、60、80、100、140 和 180 cm,这里参考了 De Lannoy 等<sup>[10]</sup>的参数化修改思路。

### 1.2.2 灌溉措施参数化的加入

灌溉措施是非常重要的农田管理措施,故需要在模型加入灌溉措施参数化方案。这里借鉴 Sacks 等<sup>[11]</sup>的部分灌溉参数化思路,而灌溉时间和灌溉量使用实际灌溉资料,更符合实际情况。

### 1.2.3 冬小麦和夏玉米种植制度参数化的加入

冬小麦和夏玉米种植制度也是一项重要的农田管理措施,而通用陆面模型每个网格的 PFT(植物功能类型)不随时间变化,即在某一地点只能考虑一种植物功能类型的作物,不能实现冬小麦和夏玉米种植制度。考虑到冬小麦与夏玉米的光合特性以及形态特点差异较大,故需要在模型中加入冬小麦和夏玉米种植制度参数化方案。考虑海河平原的作物播种及收获日期,在模型中确定每年的 6—9 月份为夏玉米生长期,其他 8 个月份为冬小麦生长期,冬小麦和夏玉米各自有一套作物参数。

### 1.2.4 考虑作物株高随时间的变化

通用陆面模型主要应用于自然植被,默认的植物高度为常数,而在冬小麦和夏玉米种植制度下的农田,作物高度在年内有明显的变化,其影响

地表通量的模拟值,故需要考虑作物株高随时间的变化。

### 1.2.5 土壤水文过程参数化修改

通过多次的模型离线模拟发现,土壤湿度的模拟值较实际观测值偏低,为了减少偏差,参考 Lawrence 等<sup>[13]</sup>的相关参数化修改方法。

1)修改土壤水力传导度的参数化公式,去掉土壤深度的指数递减因子。由于之前缺乏土壤各层的砂粒和粘粒百分比含量的数据,只有表层的土壤砂粒和粘粒百分比含量的数据,模型的土壤饱和和水力传导度公式是在土壤粘粒百分比含量随着土壤深度增加的假设下建立的,公式里有土壤深度的指数递减因子,而现在已有各层土壤的砂粒和粘粒百分比含量数据,指数递减因子会使表层以外的土壤层饱和和水力传导度偏低,从而模拟的土壤湿度偏低,故去掉土壤深度的指数递减因子可以减小土壤湿度的模拟误差。

2)关掉了模型的 6~9 层侧向排水的参数化。6~9 层土壤侧排水使得模拟的 6~10 层土壤湿度非常低,远远偏离实际观测值,同时海河平原的地下水位很低,1980 年以后该地区地下水位都低于 2 m,土壤垂直方向为自由排水较符合实际情况,故关掉 6~9 层土壤侧向排水。

3)上 3 层土壤的作物根分布百分比的加权平均加入到地表径流公式。改善模拟的地表径流偏高,进入土壤的水量偏低的状况。

4)修改植被下土壤与冠层空气间的湍流传递系数。改善模拟的地表蒸发量过高,地表土壤湿度偏低的状况。修改植被下土壤与冠层空气间的湍流传递系数计算公式如下:

$$C_s = C_{s,bare} W + C_{s,dense} (1 - W)$$

$$W = e^{-a(LAI+SAI)} \quad (1)$$

式中: $C_s$ 、 $C_{s,bare}$ 和  $C_{s,dense}$ 分别为植被下土壤与冠层空气间的湍流传递系数,秃地的湍流传递系数及茂密植被下土壤与冠层空气间的湍流传递系数; $LAI$ 、 $SAI$ 分别为叶面积指数、茎面积指数。该公式在默认模型中加入  $a$  参数以调节权重系数  $W$ ,模型默认的  $C_{s,dense}$ 及  $a$  取值分别为 0.004 0、1,参考 Lawrence 等<sup>[13]</sup>,2 个参数分别调节为 0.002 5、2。

### 1.2.6 植被水文过程参数化修改

通过多次的模型离线模拟发现,植被的降水截留量偏高、作物蒸腾量偏低,土壤湿度的模拟值较实

际观测值偏低,为了减少偏差,参考 Lawrence 等<sup>[13]</sup>的相关参数化修改方法。

1) 修改冠层降水截留量公式。由于模型考虑的是全球植被降水截留量,一般大的树木的降水截留量较大,而农作物的降水截留量很小,需要修改农田冠层降水截留量公式,以改善模拟的冠层降水截留量明显偏高的状况。修改的冠层降水截留量计算公式如下:

$$q_{\text{intr}} = a_l (q_{\text{rain}} + q_{\text{sno}}) \times \{1 - \exp[-0.5(\text{LAI} + \text{SAI})]\} \quad (2)$$

式中  $q_{\text{intr}}$  为冠层降水截留量,  $q_{\text{rain}}$  及  $q_{\text{sno}}$  分别为到达冠层的降雨量及降雪量。LAI、SAI 分别为叶面积指数、茎面积指数。该公式在默认模型中加入  $a_l$  参数以调节冠层降水截留量  $q_{\text{intr}}$ , 模型默认  $a_l$  参数为 1, Lawrence 等<sup>[13]</sup> 将参数调节为 0.25, 在本研究区, 植物类型为冬小麦和夏玉米, 一般农作物年截留量约为年降水量的 5%, 几乎可以忽略不计<sup>[14]</sup>, 故需要调小该参数, 结合研究区叶面积指数(LAI)数据, 将  $a_l$  参数调节为 0.1, 与实际的状况符合。

2) 考虑叶子阴面有光合作用。修改叶子的光辐射吸收部分的参数化, 考虑叶子阴面吸收散射光, 有光合作用, 改善作物蒸腾量偏低, 土壤湿度模拟偏差情况。

### 1.2.7 日历的修改

农田观测资料一般使用罗马日历, 有平年和闰年之分, 而模型默认的是 no-leap-year 的日历, 不能考虑平年和闰年之分, 为了研究的方便, 这里将模型的日历改为罗马日历, 同时修改 LAI 线性插值程序中对应的日期部分。

### 1.2.8 模型循环运行的实现

由于没有初始状态的数据, 模型需要 spin-up 调整达到平衡状态, 一般推荐转 5 次, 第 6 次的模拟结果才能作为最后的分析结果<sup>[15-16]</sup>, 为了方便 spin-up 的完成, 修改模型源代码, 实现模型的循环运行。

## 2 材料与方方法

为了验证参数化方案改进后的通用陆面模型 CLM3.0 在冬小麦和夏玉米种植制度下的农田的适用性, 本研究将在海河平原由北至南的 3 个农业观测试验站进行一系列的数值模拟分析, 对比模型改进前后的土壤墒情模拟精度。选用的 3 个农业试验站分别是北京的中国农业大学的东北旺试验站、河

北的中国科学院的栾城试验站及河南的中国农业科学院的洪门试验站。

### 2.1 试验站概况

北京的中国农业大学东北旺试验站(东经 116.3°, 北纬 39.95°), 海拔 31.3 m, 气候条件属于暖温带半湿润季风气候, 冬季寒冷干燥, 夏季高温多雨, 年平均气温 11.5 °C, 年平均降雨量 640 mm, 夏季(6—8 月)降雨量占年降雨量的 70% 以上, 土壤类型为草甸褐土, 地下水埋深 20 米<sup>[17-18]</sup>。

河北省的中国科学院栾城农业生态系统试验站(东经 114.68°, 北纬 37.88°), 海拔 50.1 m, 属暖温带半湿润半干旱季风气候, 多年平均降雨量 480.7 mm, 年平均气温 12.3 °C<sup>[19-20]</sup>。

河南省的中国农业科学院农田灌溉研究所洪门试验站(东经 113.89°, 北纬 35.30°), 海拔 73.2 m, 多年平均气温 14.1 °C, 多年平均降雨量 588.8 mm, 多年平均蒸发量 2 000 mm, 土壤质地主要为粉壤土<sup>[21]</sup>。

### 2.2 试验站数据介绍

本研究针对参数化方案改进后的 CLM3.0 模型需要, 搜集大量 3 个试验站点上已发表的文献, 对文献中提供的土壤信息、种植信息、灌溉信息、叶面积指数和株高观测值进行数字化处理。

模型的输入包括气象资料、土壤资料、作物属性资料及田间管理措施。气象资料来自国家气象信息中心气象数据, 包括地表气压、气温、太阳辐射、比湿、风速和日降雨量, 其中太阳辐射由日照时数换算得到, 比湿由相对湿度、日最高气温及最低气温换算得到, 具体计算公式见 FAO 的 Penman-Monteith 方法。根据最近距离法选取了北京站、石家庄站和新乡站。

模型所需的土壤参数包括土壤砂粒百分含量、粘粒百分含量及土壤颜色。其中, 由于是灌溉农田, 土壤颜色指数定为 5; 土壤 10 层砂粒、粘粒含量数据由文献得到的土壤砂粒、粘粒含量数据换算得到; 作物参数包括叶面积指数、株高。月平均的叶面积指数及株高数据由相关文献的数据综合计算得到; 种植制度信息包括播种时间和收获时间; 灌溉制度信息包括灌溉时间和灌溉量。东北旺试验站的相关数据来源于曹巧红<sup>[17]</sup>、李志勇<sup>[22]</sup>、范仲学<sup>[24]</sup>、孙钦平<sup>[25]</sup>, 栾城试验站的相关数据来源于李晓欣<sup>[20]</sup>、Hu<sup>[19]</sup>和 Zhang 等<sup>[26]</sup>, 洪门试验站的相关数据来源于亢连强<sup>[21]</sup>和李平<sup>[23]</sup>。

3个试验站用于模型验证的土壤墒情资料分别来源于曹巧红<sup>[17]</sup>、Hu<sup>[19]</sup>和李平<sup>[23]</sup>。东北旺试验站有2000—2001年6层的土壤湿度数据,栾城试验站有2001—2003年6层的土壤湿度数据,洪门试验站有2005—2006年7层的土壤湿度数据。

### 2.3 评价及对比指标

模型模拟误差由均方根误差表征

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{o,i} - P_{m,i})^2}{n}}$$

式中:RMSE是均方根误差, $P_{o,i}$ 是观测值, $P_{m,i}$ 是模拟值。

改进前后模型的模拟精度对比由变化百分比表征

$$PC = \frac{RMSE_d - RMSE_i}{RMSE_d} \times 100$$

式中:PC是变化百分比, $RMSE_d$ 是默认模型模拟的土壤墒情的均方根误差, $RMSE_i$ 是参数化方案改进后的模型模拟的土壤墒情的均方根误差。

### 3 结果与分析

本研究分别用默认模型与参数化方案改进后的模型在3个农业观测试验站进行数值模拟,与观测的土壤墒情资料相比,模型改进前后的土壤湿度模拟误差RMSE见表1。表中分别为改进前后的模型模拟的土壤湿度的RMSE,改进后的模型模拟的RMSE对于默认模型模拟的RMSE减少的百分比(即PC代表改进后的模型模拟精度提高程度)。

表1 CLM3.0模型改进前后的3个试验站土壤湿度模拟的均方根误差及其变化百分比

Table 1 Root mean square errors and the percentage change of simulated soil moisture before and after CLM3.0 model improvements at three experiment stations

试验站 Experiment station	变量/cm Variable	改进前(RMSE)/ ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) Before improvements	改进后(RMSE)/ ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) After improvements	变化百分比(PC)/% Percentage change
东北旺 Dongbeiwang	20	0.127	0.094	26.0
	100	0.174	0.104	40.2
	180	0.160	0.065	59.4
	2 m 土体 2m Soil profile	0.155	0.085	45.2
栾城 Luancheng	20	0.198	0.142	28.3
	40	0.125	0.067	46.4
	60	0.154	0.062	59.7
	100	0.150	0.053	64.7
	2 m 土体 2 m Soil profile	0.153	0.081	47.1
洪门 Hongmen	5	0.120	0.049	59.2
	10	0.112	0.044	60.7
	20	0.114	0.040	64.9
	40	0.121	0.059	51.2
	60	0.093	0.053	43.0
	100	0.108	0.035	67.6
	2 m 土体 2 m Soil profile	0.097	0.047	51.5

#### 3.1 改进后的模型适用性评价

参数化方案改进后的通用陆面模型CLM3.0模拟的土壤湿度的RMSE见表1的第3列,东北旺试验站、栾城试验站及洪门试验站模拟的2 m土体土壤湿度的RMSE分别是0.085、0.081和0.047

$\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ,在合理的范围内,见文献De Lannoy等<sup>[10]</sup>。由于东北旺试验站观测资料的土壤深度是23、45、75、105、135和165 cm,与模型的对应土壤节点深度有些差别,故土壤湿度的RMSE会偏大一些;栾城试验站除表层20 cm土壤湿度模拟较差外,

其它层的土壤湿度模拟精度较高;洪门试验站的模拟效果最好,模拟的各层土壤湿度的 RMSE 几乎都小于  $0.05 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 。由此可见,参数化方案改进后的模型可以较好地模拟冬小麦-夏玉米种植制度下农田的各层土壤湿度。

观测站的土壤湿度模拟效果都不错,因篇幅限

制,仅给出改进后的 CLM3.0 模型模拟的栾城试验站 40 cm 土壤湿度变化图(图 1),改进后模型模拟的土壤湿度的变化趋势与观测值基本一致,其可以反应出各层土壤湿度的变化趋势。总结可知,改进后的 CLM3.0 模型在冬小麦和夏玉米种植制度下的农田具有较好的适用性,可以反应出各层土壤湿

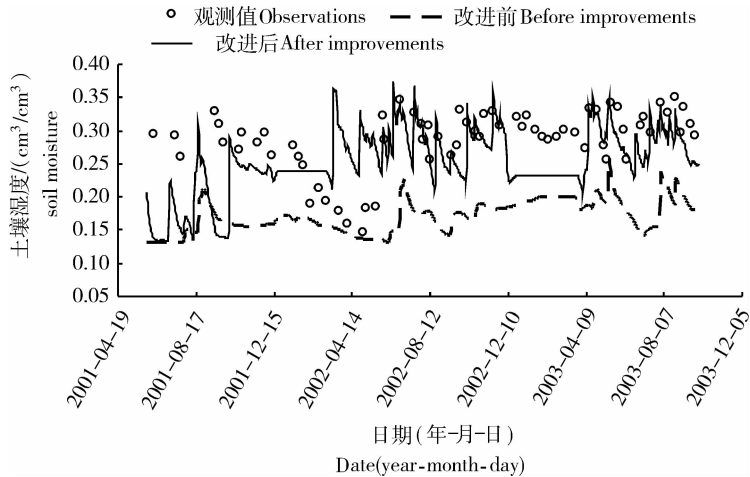


图 1 改进前后的 CLM3.0 模型模拟的栾城试验站 40 cm 土壤湿度

Fig. 1 Simulated soil moisture at 40-cm depth before and after CLM3.0 model improvements at Luancheng experiment station

度的变化。

### 3.2 参数化方案改进前后土壤墒情模拟精度对比

由表 1 可见,在东北旺试验站,改进后的模型的 20、100 和 180 cm 土壤湿度模拟精度较默认模型都有明显提高,且随着土壤深度的增加,模拟精度提高程度 PC 增大,180 cm 土壤湿度模拟精度提高最多,PC 为 59.4%,2 m 土体土壤湿度的 PC 为 45.2%;在栾城试验站,改进后的模型的 20、40、60 和 100 cm 土壤湿度的模拟精度较默认模型也有明显提高,与东北旺试验站类似,随着土壤深度增加,模拟精度提高程度 PC 增大,100 cm 土壤湿度模拟精度提高最多,PC 为 64.7%,2 m 土体土壤湿度的 PC 为 47.1%;在洪门试验站,与默认模型相比,改进后的模型的 5、10、20、40、60 及 100 cm 土壤湿度的模拟精度同样也明显提高,与其他 2 个试验站不同,模拟精度提高程度 PC 没有随着土壤深度增加而增大,没有明显的变化规律,而 100 cm 土壤湿度的模拟精度提高仍最多,PC 为 67.6%,2 m 土体土壤湿度的 PC 为 51.5%。

图 1 可见,改进后的模型的土壤墒情模拟值较默

认模型更接近观测值,其模拟的土壤湿度误差较小。

总结可得:参数化方案改进后的通用陆面模型 CLM3.0 在冬小麦和夏玉米种植制度下的农田模拟的土壤墒情精度较默认模型有较大的提高,2 m 土体土壤湿度的模拟精度较默认模型提高 45.2%~51.5%。由北至南,土壤湿度模拟精度提高程度增大,一般而言,随着土壤深度增加,改进后的模型的土壤墒情模拟精度提高程度增大。

## 4 结论与讨论

准确的模拟土壤墒情对于开展农事服务及农业干旱监测预警有重要的指导意义,本研究改进通用陆面模型 CLM3.0 在冬小麦-夏玉米种植制度下的农田的参数化方案,并在 3 个农业试验站验证其适用性,结果表明:

1) 通用陆面模型 CLM3.0 在冬小麦-夏玉米农田的参数化改进方案可以较大地提高模型在该农业区的土壤墒情模拟精度,改进后的模型在该农业地区具有较好的适用性,可以抓住各层土壤湿度的变化趋势。

2) 参数化方案改进后的通用陆面模型 CLM3.0 在冬小麦和夏玉米种植制度下的农田模拟的土壤墒情精度较默认模型有较大的提高, 2 m 土体土壤湿度的模拟精度较默认模型提高 45.2%~51.5%。由北至南, 土壤湿度模拟精度提高程度增大。

虽然改进后的模型在冬小麦-夏玉米农田的土壤墒情模拟效果不错, 但某些试验站的表层土壤墒情模拟精度仍较低, 这应该与相关敏感参数取值不够合理有关, 故下一步的工作是要收集更丰富的农业试验站点资料, 针对土壤参数、作物参数, 进一步率定与验证参数化方案改进后的 CLM3.0 模型。

### 参 考 文 献

- [1] Zou L J, Gao W, Wu T W, et al. Numerical simulation by the Common Land Model (CLM) of the soil moisture over China during the summer of 2006[J]. SPIE, 2008, 7083: 8314
- [2] Choi M, Lee S O, Kwon H. Understanding of the common land model performance for water and energy fluxes in a farmland during the growing season in Korea[J]. Hydrol Process, 2010, 24(8): 1063-1071
- [3] Li M X, Ma Z G. Comparisons of simulations of soil moisture variations in the yellow river basin driven by various atmospheric forcing data sets[J]. Adv Atmos Sci, 2010, 27(6): 1289-1302
- [4] Meng L, Quiring S M. Examining the influence of spring soil moisture anomalies on summer precipitation in the U. S. Great plains using the community atmosphere model version 3[J]. J Geophys Res, 2010, 115(D21118)
- [5] Liu Y Y, Evans J P, McCabe M F et al. Influence of cracking clays on satellite estimated and model simulated soil moisture [J]. Hydrol Earth Syst Sc, 2010, 14(6): 979-990
- [6] Song Y M, Guo W D, Zhang Y C. Numerical study of impacts of soil moisture on the diurnal and seasonal cycles of sensible/latent heat fluxes over semi-arid region[J]. Adv Atmos Sci, 2009, 26(2): 319-326
- [7] 杜川利, 刘晓东. CLM3 模拟的 1979—2003 年中国土壤湿度及其对全球变暖的可能响应[J]. 高原气象, 2008, 27(3): 463-473
- [8] Dickinson R E, Oleson K W, Bonan G, et al. The community land model and its climate statistics as a component of the community climate system model[J]. J Climate, 2006, 19(11): 2302-2324
- [9] Oleson K W, Dai Y J, Bonan G, et al. Technical description of the Community Land Model (CLM) [M]. NCAR/TN-461 + STR; 174, 2004
- [10] De Lannoy G J M, Houser P R, Pauwels V R N, et al. Assessment of model uncertainty for soil moisture through ensemble verification[J]. J Geophys Res, 2006, 111(D10)
- [11] Sacks W J, Cook B I, Buening N, et al. Effects of global irrigation on the near-surface climate[J]. Clim Dynam, 2009, 33(2/3): 159-175
- [12] Clapp B J, Hornberger D M. Empirical equations for some hydraulic properties[J]. Water Resource Research, 1978, 14: 601-604
- [13] Lawrence D M, Thornton P E, Oleson K W, et al. The partitioning of evapotranspiration into transpiration, soil evaporation, and canopy evaporation in a GCM: Impacts on land-atmosphere interaction[J]. Journal of Hydrometeorology, 2007, 8(4): 862-880
- [14] 靳孟贵, 张人权, 方连玉, 等. 土壤水资源评价的研究[J]. 水利学报, 1999, 8: 31-35
- [15] Chen T H, Henderson-Sellers A, Milly P, et al. Cabauw experimental results from the project for intercomparison of land-surface parameterization schemes[J]. J Climate, 1997, 10(6): 1194-1215
- [16] Yang Z L, Dickinson R E, Henderson-Sellers A, et al. Preliminary-study of spin-up processes in land-surface models with the first stage data of project for intercomparison of land-surface parameterization schemes phase 1(a) [J]. J Geophys Res, 1995, 100(D8): 16553-16578
- [17] 曹巧红. 随机降雨/天气变化条件下冬小麦-夏玉米农田氮淋失特征模拟分析[D]. 北京: 中国农业大学, 2002
- [18] 金梁. 基于 SPWS 模型的华北平原农田水氮利用效率及环境效应分析[D]. 北京: 中国农业大学, 2007
- [19] Hu C, Saseendran S A, Green T R, et al. Evaluating nitrogen and water management in a double-cropping system using RZWQM[J]. Vadose Zone J, 2006, 5: 493-505
- [20] 李晓欣. 华北平原小麦-玉米两熟制下土壤硝态氮运移及淋失研究[D]. 石家庄: 中国科学院石家庄农业现代化研究所, 2003
- [21] 亢连强. 不同地下水埋深条件下再生水灌溉的试验研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2005
- [22] 李志勇. 冬小麦-夏玉米一年两熟条件下的水氮优化研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2002
- [23] 李平. 不同潜埋深污水灌溉氮素运移试验研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2007
- [24] 范仲学. 冬小麦-夏玉米一年两熟水氮高效利用及其机理研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2001
- [25] 孙钦平. 华北平原不同生产体系水氮资源的优化: 田间试验和模型模拟[D]. 北京: 中国农业大学, 2008
- [26] Zhang X Y, Pei D, Chen S Y, et al. Performance of double-cropped winter wheat-summer maize under minimum irrigation in the north China plain[J]. Journal of Agronomy, 2006, 98: 1620-1626