

# CLM 在淮河流域数值模拟试验\*

黄 伟 郭振海 宇如聪

(中国科学院大气物理研究所, LASG, 北京, 100029)

## 摘 要

文中利用 1998 年 HUC EX 资料对 Common Land Model (CLM) 的模拟能力进行了验证。结果表明, CLM 不但能够较好地模拟陆-气间各种能量通量, 而且还能模拟出土壤中温度的时空分布特征。春季, CLM 对潜热模拟偏高, 而引起土壤温度模拟偏低; 而在夏季, 潜热模拟偏低, 在旱地下垫面由于净辐射模拟偏低使土壤温度的模拟仍然偏低, 水田下垫面的土壤温度模拟趋向合理。夏季的水田无论在对大气的能量输送还是土壤的温度分布上, 都有其特殊性, 需在陆面模式中予以特殊的考虑。

关键词: 陆面过程模式, HUBEX, CLM, 通量。

## 1 引 言

地球生物圈是地球气候系统的重要组成部分, 其植被覆盖的动力学过程、热力学过程以及生理过程是影响气候变化的关键因素, 因此, 在气候模式中准确描述与植被覆盖相关的物理过程就变得相当重要, 这些物理过程参数化的数值模式被称为陆面过程模式。已有的研究表明, 陆面过程模式的改进可以显著地提高气候模式的预测水平<sup>[1, 2]</sup>。

陆面过程模式是由不同的物理过程模式组成, 这些物理过程包括与植被形状相关的动力学特征的参数化、冠层内的长短波辐射传输和降雨截获等, 与植物生理相关的光合作用、蒸腾与蒸散以及土壤内的水热传导的物理过程、土壤化学过程、冻土上冻与解冻过程等, 这些物理过程参数化的发展和完善极大地丰富了陆面过程模式的研究内容, 同时它们也是陆面过程模式应该解决的关键所在。在陆面过程模式的发展初级阶段, 最具代表性是 BATS<sup>[3, 4]</sup> 和 Sib<sup>[5]</sup>, 它们奠定了陆面过程模式的基础, 其对植被的参数化有较显著的区别。陆面植被覆盖的气候学特征的复杂性不仅体现在生态系统的物种多样性以及植物个体、地域等差异, 而且, 更重要的是, 不可能用一致的显式物理方程约束, 这就增加了植被参数化的难度和复杂性。为了简化陆面过程模式, BATS

采用了整体模型, 用植被覆盖指数 (NDVI) 来简化对植被的描述, 其中降雨拦截作用、气孔阻滞和辐射的传输等过程采用了一整套参数化方案; 而 Sib 为描述植被而引入了数 10 个参数, 大大增加了模式参数化的复杂性, 在对植被的观测手段和对植被的气候学特征认识还有限的今天, 显然, 经过简化的或者派生的类 Sib 方案<sup>[6-9]</sup> 更具发展潜力。经过 20 多年的努力, 目前世界上发展的陆面过程模式有数 10 个之多, 在陆面过程及相关的物理过程的参数化发展方面, 中国科学家做出了卓越的贡献<sup>[10, 11]</sup>, 而且一些领域处于研究的前沿<sup>[12, 13]</sup>。

陆面过程模式蓬勃发展的动力源于气候变化研究和预测的迫切要求。气候模式已经是研究和预测气候变化的不可替代的工具, 作为影响气候变化的关键因素之一, 陆面过程模式是任何气候模式必须关注的重点研究和开发内容之一<sup>[14, 15]</sup>。目前有多种陆面过程模式, 其中, Common Land Model (CLM) 是目前世界上发展最为完善的而且也是最具发展潜力的陆面过程模式之一, 它综合了 BATS, IAP94, NCAR 的 LSM 等几个陆面模式的优点, 并且, 加入了水文过程和改进一些物理过程的参数化, 已经耦合到 NCAR 的气候模式 (CCM)<sup>[16]</sup> 和其他的区域气候模式中。为了配合中国气候模式开发研究计划, 引进较好的陆面过程模式是缩短与世界差距的最有

\* 初稿时间: 2003 年 6 月 9 日; 修改稿时间: 2003 年 8 月 23 日。

资助课题: 中国科学院百人计划“气候与植被相互作用”项目与国家自然科学基金重点基金 (40233031)。

效手段, 而 CLM 是其中的一个选择。

以观测分析为基础, 研究陆面过程如何影响地气能量交换是发展和完善陆面过程模式必不可少的过程和重要手段<sup>[17~20]</sup>, 观测资料分析可以认识陆面过程影响气候变化的机理, 更进一步地可以发现陆面过程模式的不足以及可能的解决方案。中国处于东亚季风区, 同季风相关的旱涝事件频繁, 在气候特征上有其特殊性; 东亚区域地形复杂, 地表植被多样, 陆面状况的复杂性必然对陆面过程模式提出较高要求<sup>[21]</sup>。

## 2 模式描述

CLM 由 BATS, IAP 94 和 LSM 发展而来, NCAR 最新发布的 CCSM 2.0(2002) 的陆面过程部

分采用了 CLM 的 2.0 版本。严格的说, CLM 是一个单点模式, 在应用上可以考虑水平网格内的地表特征差异或不同的植被类型下的生态学差异以及不同土壤类型的水力学和热力学特征差异等, 按照 IGBP 陆面类型定义来分类, 下垫面分为包括湖面和永久湿地在内的 18 种类型<sup>[22]</sup>。作为一个完善的陆面过程模式的模型(如图 1), CLM 按照不同的物理过程特征, 模式结构可以分为两部分, 地面上的与植被覆盖相关的和与地表下的土壤中水热传导相关的物理过程。在这两个部分中, 重要的物理过程包括辐射传输、湍流扩散和土壤的水热传导等。下面简单介绍一下 CLM 几个基本的物理过程, 更详细的描述可参阅相关技术文档或文献<sup>①</sup>。

### 2.1 CLM 的湍流交换参数化

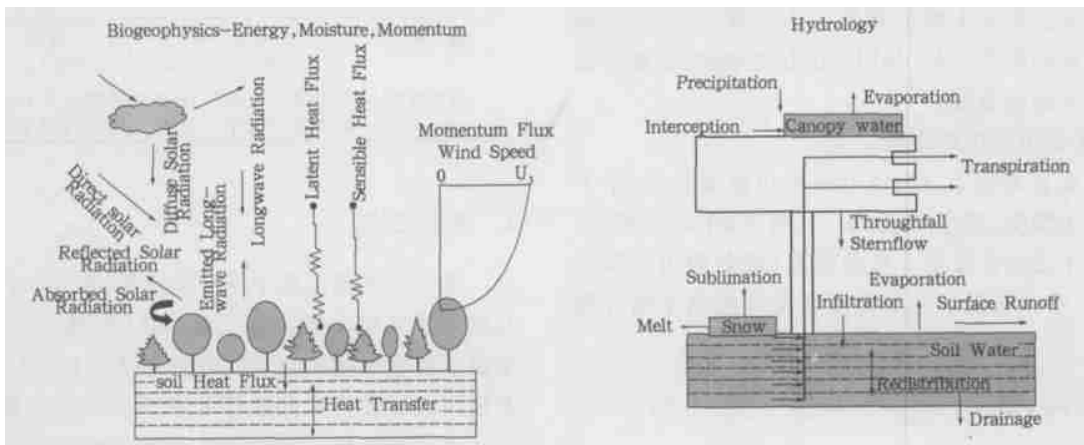


图 1 CLM 模式的结构<sup>[23]</sup>

Fig. 1 The framework of COMMON LAND MODEL

陆面和参考高度直接的动量、感热通量和水蒸汽通量可以写成如下形式:

$$\begin{aligned} \tau_x &= - u_a (\overline{u'w'}) = - v_a u_*^2 (u_a / V_a) \\ &= - v_a \frac{u_a}{r_{am}} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \tau_y &= - u_a (\overline{v'w'}) = - u_a u_*^2 (v_a / V_a) \\ &= - u_a \frac{v_a}{r_{am}} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} H &= u_a c_p (\overline{w'\theta'}) = - v_a c_p u_* \theta_* \\ &= u_a c_p \frac{\theta_s - \theta_a}{r_{ah}} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} E &= u_a (\overline{w'q'}) = - v_a c_p u_* q_* \\ &= u_a \frac{q_s - q_a}{r_{aw}} \end{aligned} \quad (4)$$

其中,  $r_{am}$ ,  $r_{ah}$ ,  $r_{aw}$  分别是动量、感热和潜热的动力学阻尼, 它们依赖于当时的气象要素和植被特征参数及下垫面状况, 其中,  $u_a$  为标量风速,  $c_p$  为干空气比热,  $u_a$ ,  $v_a$  为矢量风速,  $q_s$ ,  $q_a$ ,  $\theta_s$ ,  $\theta_a$  分别为表面和参考高度的湿度和位温。

### 2.2 CLM 的辐射传输模式

植被中的辐射传输是陆面过程模式的重点研究内容之一, 其中如何确定植被和土壤反照率是关键, CLM 中的辐射传输是一个基于简单的二流(two-stream)方案, 这一方法通过简单的参数化公式结合土壤和冠层的反照率而来的。以一定高度冠层反射传播的直接传播(beam)部分为例。

① Yongjiu Dai, et al, 2001: Common Land Model(Technical Documentation and User's Guide).

$$\alpha_{\Lambda, b(c)} = \alpha_{\Lambda, b(f)} \left[ 1 - \exp \left[ - \frac{\omega \beta L_{SAI}}{\mu \alpha_{\Lambda, b(c)}} \right] \right] + \alpha_{\Lambda, b(g)} \exp \left[ - \left( 1 + \frac{0.5}{\mu} L_{SAI} \right) \right] \quad (5)$$

可以看出方程当  $L_{SAI} \rightarrow \infty$  时, 有  $\alpha_{\Lambda, b(c)} \rightarrow \alpha_{\Lambda, b(f)}$  而当  $L_{SAI} \rightarrow 0$  时, 有  $\alpha_{\Lambda, b(c)} \rightarrow \alpha_{\Lambda, b(g)}$ 。这里,  $\alpha_{\Lambda, b(c)}$  为最终的直接传播部分的反照率, 而  $\alpha_{\Lambda, b(f)}$  为冠层反照率,  $\alpha_{\Lambda, b(g)}$  为地面反照率。与直接散射的原理类似, 这里不再赘述。

最后净辐射通量有

$$R_N = S^{\downarrow} + L^{\downarrow} - S^{\uparrow} - L^{\uparrow} \quad (6)$$

其中,  $R_N$  为净辐射通量,  $S^{\downarrow}$  和  $L^{\downarrow}$  分别为向下的短波辐射和长波辐射通量, 属于大气强迫的部分,  $S^{\uparrow}$  为向上的短波辐射,  $S^{\uparrow} = \alpha S^{\downarrow}$ , 而  $\alpha$  由上述方案中的冠层反照率和土壤反照率综合得到, 它的大小取决于下垫面类型。  $L^{\uparrow}$  是向上的长波辐射, 依赖于冠层温度和地表温度。

### 2.3 土壤中热传导方程

在垂直方向上, CLM 有一个植被层和 10 个不均匀的土壤层, 厚度从 1.75 cm 到 3.43 m 不等, 另外, CLM 还包含最多 5 层的雪层(层数取决于雪的厚度)。在这些层次控制热量传输的能量平衡方程为

$$\sum_{k=i, l, d} [\rho_k c_k \theta_k]_j \Delta z_j \frac{\partial T_j}{\partial t} = R_{N, j} - [L_f M_{il} \Delta z]_j - H - L_v E + \left[ \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right]_{z_{h, j-1}}^{z_{h, j}} \quad (7)$$

$i, l, d$  分别代表冰、液态水和土壤 3 种介质,  $\rho_k, c_k, \theta_k$  分别为这 3 种介质的密度、热容和各部分的相对体积,  $R_{N, j}, \Delta z_j$  为层次厚度, 方程左边的项表示能量的获得或者丧失, 具体表现是温度对时间导数  $\frac{\partial T_j}{\partial t}$  的变化。方程右边第 1 项为净辐射, 第 2 项为物态变化引起的能量收支, 第 3 项为感热, 第 4 项为潜热, 第 5 项为热传导, 其中  $\lambda$  为土壤热传导系数。如果仅就干土壤讨论, 并将土壤各层合并分析, 则第 2, 5 项都可以忽略, 土壤温度随时间的变化只和净辐射、感热通量和潜热通量有关。

### 3 资料来源

淮河能量与水分循环试验(HUBEX)是由中日联合于 1997~2001 年进行的大型观测研究计划, 试验区域位于中国的淮河流域, 该区域是受亚洲季风

影响的典型区域。外场试验分别在 1998 和 1999 年两年季风爆发期进行, 其中包括加密探空观测, 以及地面通量观测。本文所用资料 HUBEX KV-AWS 1998 年 5 和 8 月的部分观测资料, 该资料包括风速梯度, 土壤温湿度,  $CO_2$  等。本文涉及到旱地、水田这两种不同下垫面在不同时间段的辐射通量(向上和向下的长、短波辐射)、湍流通量(感热、潜热通量)、气温、土壤温度、气压和降水等资料。其中下垫面代表了亚洲季风区淮河流域的主要下垫面特征。表 1 给出的是这 4 组资料基本情况。关于这两个时段的天气状况, 可参考文献[24], 这里不再表述。

表 1 数值试验所用资料的观测地点和时段

Table 1 The Dbsev vahon Sires and times

陆面类型	旱地	水田
观测地点	双铺 (31.9°N, 115.4°E)	鄱岗 (32.0°N, 115.3°E)
观测时段	1998 年 5 月 10~18 日 1998 年 8 月 17~21 日	1998 年 5 月 18~24 日 1998 年 8 月 8~15 日

### 4 数值试验

基于上述两点两个季节的资料, 本文利用 CLM 分别做了 4 组单点试验。从 CLM 对基本通量和土壤温度传输的模拟与观测进行对比分析。5 和 8 月是淮河流域较为典型的作物种植期和生长期, 它可以代表淮河流域亚洲季风区大部分地区的陆面过程特征。本文选取旱地和水田作为典型研究区域, 分析结果具有一定的普遍性和代表性。旱地下垫面的观测地点位于双铺(31.9°N, 115.4°E), 所用资料包括 1998 年 5 月 11~17 日和 8 月 18~20 日两个时段; 而水田下垫面的观测点位于鄱岗(31.99°N, 115.30°E), 所用资料包括 1998 年 5 月 20~23 日和 8 月 9~14 日两个时段。

#### 4.1 通量的日变化

在陆-气相互作用中, 通量起着决定性的作用, 因而感热和潜热通量与观测对比分析是考察一个陆面模式模拟能力最常用的方法, 这一节主要分析净辐射、潜热通量和感热通量这 3 个基本量的结果。感热通量、潜热通量和净辐射具有明显的日变化特征, 因此, 本节仅对日变化特征明显的时段重点分析。基于这一考虑, 本文选取了旱地的 5 月 16 日与 8 月 19 日和水田的 5 月 20 日与 8 月 10 日作为典型时次进行分析。

### 4.1.1 旱地下垫面

图 2 是 5 月 16 日旱地观测和模拟的对比分析。该时段天气晴好,净辐射在中午时分达  $600 \text{ W/m}^2$ ,从图中可以看出,感热、潜热和净辐射模拟结果均与观测基本一致:净辐射的模拟比观测值小  $20 \text{ W/m}^2$ 左右,这个误差的主要原因饲植被和土壤特征参数的不确定性及辐射参数化本身所致。CLM 模拟的感热通量和潜热通量结果与观测结果在趋势上是一致的,但在中午时分的绝对误差最大,模拟结果比观

测结果小  $20\sim 30 \text{ W/m}^2$ 。

图 3 是旱地 8 月 19 日 CLM 模拟的各项通量和观测结果的比较,该结果与 5 月 16 日的结果一致,CLM 均能合理地模拟出各通量的日变化特征。所不同的是 8 月份潜热通量与感热通量相比在能量平衡方程中占有相对重要位置,其最大值达  $300 \text{ W/m}^2$ ,绝对误差达  $50\sim 60 \text{ W/m}^2$ ,这个值比 5 月份要大得多,也就是说,潜热通量的模拟结果相对

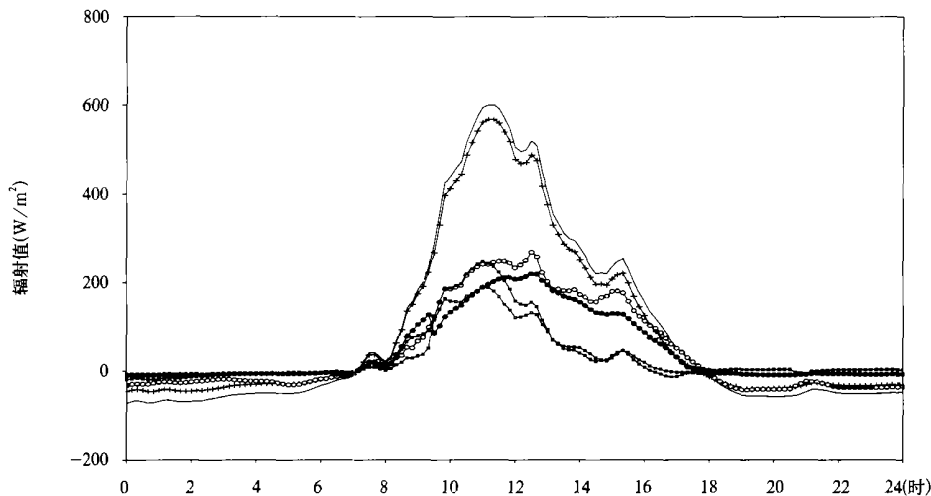


图 2 5 月 16 日旱地净辐射、潜热通量和感热通量观测和模拟的比较  
(实线:观测净辐射,十字线:模拟净辐射,空心方框:观测感热,实心方框:模拟感热,空心圆:观测潜热,实心圆:模拟潜热)

Fig. 2 Variation of observed and simulated flux at a farm site in 16 May, 1998

(note: observed net radiation, plus sign: simulated net radiation, open square: observed sensible heat, closed square: simulated sensible heat, open circle: observed latent heat, closed circle: simulated latent heat)

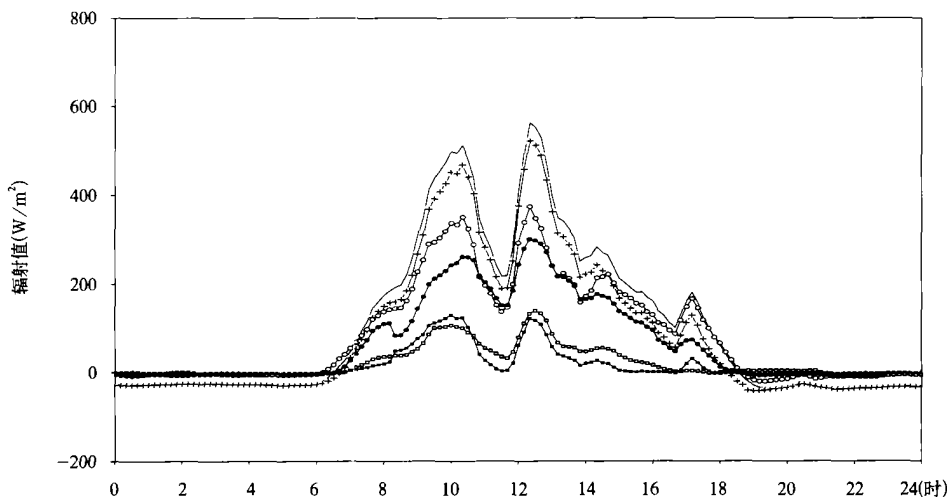


图 3 8 月 19 日旱地净辐射、潜热通量和感热通量的观测和模拟比较  
(线型说明同图 2)

Fig. 3 As in Fig. 2, but for in 19 August, 1998

较差,这一结果与 PHILPS 比较计划的结果一致;造成这个误差的主要原因很多,直接原因是地表温度模拟的相对较低(见下面的讨论),由此而造成地表比湿减小,进而影响潜热通量的计算,间接原因可能使土壤中水热传导等物理过程参数化以及地表特征的不确定性所造成。

4.1.2 水田下垫面

水田 5月20日和8月10日 CLM 模拟的能量通量和观测结果的比较。表明,模式对净辐射,潜热和感热通量的模拟同观测值基本一致(图略)。

在水田下垫面条件下,5月20日,CLM 对净辐

射模拟在中午偏低约  $30\sim 40\text{ W/m}^2$ ,8月份净辐射模拟的偏低比5月份小得多。5月份对潜热的模拟普遍偏大,而8月10日模拟的潜热则是在湍流交换强烈时偏大,而其他时次偏小。5月20日 CLM 对潜热模拟偏小,而感热在8月10日的能量收支中显然处于次要地位,CLM 的模拟结果比观测要低。

值得注意的是,8月10日的旱田和水田的潜热通量均有两个极值,这是因为中午时分有较厚的云层所致,这从净辐射的观测可以看出。

综合上述4组试验,除了5月16日的旱地,CLM 对净辐射的模拟普遍偏低;在对潜热的模拟上,

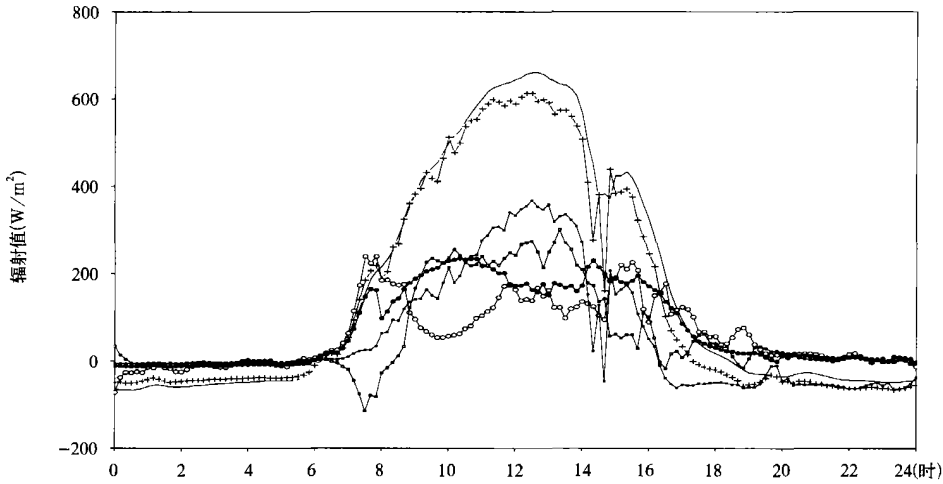


图4 5月20日水田净辐射,潜热通量和感热通量的观测和模拟比较  
(线型说明同图2)

Fig. 4 As in fig. 2, but at a paddy site in 20 May, 1998

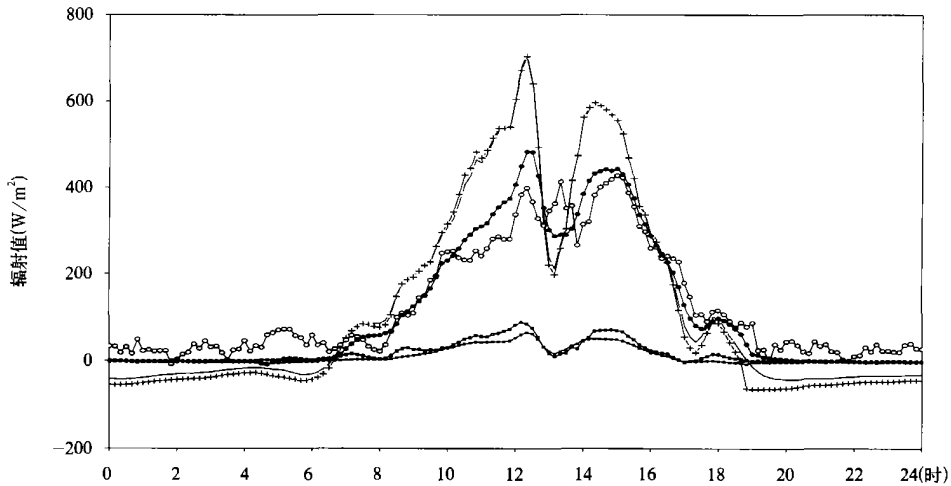


图5 8月10日水田净辐射,潜热通量和感热通量的观测和模拟比较  
(线型说明同图2)

Fig. 5 As in fig. 2, but at a paddy site in 10 August, 1998

在不同季节, CLM 的表现呈现很大的差异。

### 4.2 潜热和感热通量的分配模拟

上面分析了 CLM 对基本通量日变化的模拟, 下面将用 1◇1 的对比图对感热通量和潜热通量的模拟与观测作更进一步的分析, 这里选取的时次同整个试验的时次一致。

#### 4.2.1 旱地下垫面

图 6 所示的是旱地 5 和 8 月份观测时段通量的对比图, 图中给出了感热、潜热通量、感热通量与潜

热通量的和以及鲍恩比与观测的对比分析。在整个观测时段内, 如前所述, 模拟的感热和潜热同观测值比较一致。5 月份, 潜热在不稳定条件下模拟偏小, 而 8 月份模拟的潜热总体偏小; 5 月份感热模拟则在不稳定条件下模拟偏高, 8 月份对感热的模拟比较均匀地分布于 1◇1 线的两侧。8 月份模拟的感热+ 潜热的和整体偏小。5 月份鲍恩比有比较大的变化范围, 而 8 月份鲍恩比集中于 0.0~ 0.8, 显然 8 月份旱地的潜热占主导地位。

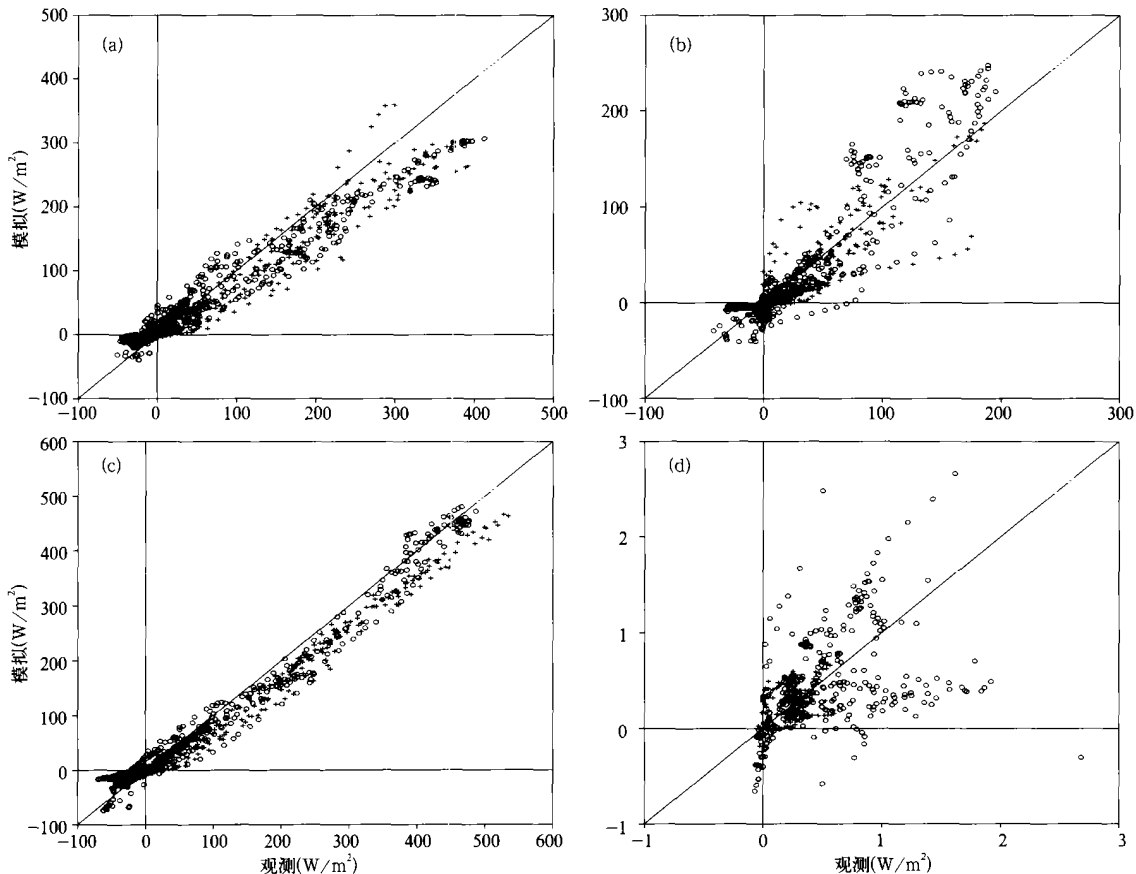


图 6 旱地通量的模拟与观测比较

(a. 潜热, b. 感热, c. 潜热+ 感热, d. 鲍恩比, 其中加号: 5 月, 空心圆: 8 月)

Fig. 6 Comparison between observed and simulated flux at a farm site

(a. latent heat, b. sensible heat, c. latent heat + latent heat, d. Bowen ratio; plus sign: in May, open circle: in August)

#### 4.2.2 水田下垫面

图 7 是水田 5 和 8 月份通量的对比图, 各个通量的模拟与观测基本一致。5 月份的潜热存在一些离开 1◇1 线较远的点, 8 月份的点几乎均匀地分布于 1◇1 线的两侧, 不稳定时, 模拟偏大的值较多, 而在 300 W/m<sup>2</sup> 以下, CLM 对潜热的模拟普遍偏小。5 月份模拟的潜热+ 感热的和偏大, 而 8 月份虽然在不稳定条件下有一些模拟偏大的点, 但多数点模

拟则偏小, 同潜热的结果一致。

#### 4.2.3 通量的平均值

结合上面的观测同模拟 1: 1 的对比图, 本文对这 4 个时段的感热、潜热以及净辐射通量结果做了平均, 并根据方程 (7) 对各个试验进行了一个简单的能量收支计算, 从平均值角度分析 CLM 的通量模拟结果。

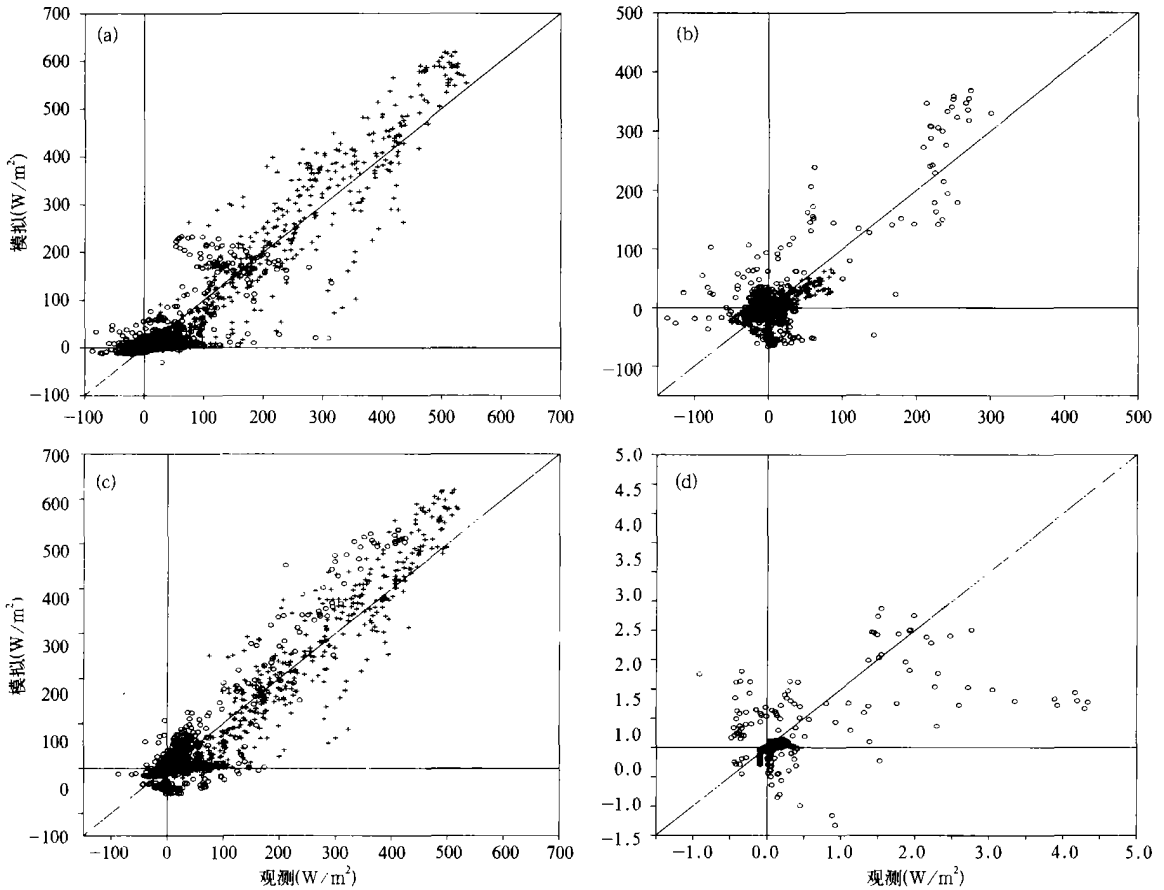


图7 水田通量的模拟与观测比较

(a. 潜热, b. 感热, c. 潜热+ 感热, d. 鲍恩比, 其中加号: 5月, 空心圆: 8月)

Fig. 7 Comparison between observed and simulated flux at a paddy site

(a: latent heat, b: sensible heat, c: latent heat + latent heat, d: Bowen ration, and plus sign: in May, open circle: in August)

表2列出的是4个试验时次平均的通量模拟值和观测值比较。结果表明,除5月份的旱地外,其他3个试验中净辐射模拟普遍偏低,比较4组的感热和潜热不难发现,5月份旱田的感热通量在地表能量收支中起着相对重要的作用,这说明,较干下垫面情况下,与湿度相关的植被叶面积总数、气孔阻尼等

参数化的作用并不十分显著,因此,计算的地表温度、地表反照率等相关参数化都能较好地与观测一致,而在湿润条件下,与湿度相关的这些物理过程的参数化方案的作用就显得十分突出,利用NCAR的植被分类方法很难详细描述下垫面状况,这就增加了很多的不确定因素,这就不难理解为什么湿润下

表2 平均的通量模拟值和观测值的比较( $W/m^2$ )

Table 2 Comparison between observed and simulated mean flux

地表状况	数值型	净辐射	潜热	感热	能量收支
水田(5月)	观测值	30.121	23.169	11.513	-4.561
	模拟值	24.520	30.580	11.391	-17.451
水田(8月)	观测值	137.912	133.451	1.588	2.873
	模拟值	124.063	123.781	-0.942	1.224
旱地(5月)	观测值	53.373	29.876	16.155	7.342
	模拟值	55.988	32.777	16.769	6.442
旱地(8月)	观测值	106.208	78.799	20.990	6.419
	模拟值	87.377	64.423	18.470	4.484

垫面的模拟结果较差。因此,与植被相关的相关参数化有待改进。从上表中可以看出,无论是水田还是旱地,5月份模拟的潜热均偏大,而8月份模拟的潜热均偏小。

从能量收支一项可以看到在试验进行的时段,CLM 对5月份水田的模拟能量损失偏大  $13 \text{ W/m}^2$  左右,这将使模拟的土壤温度大大偏低。其他的几个试验,能量收入也比观测要小一些。

### 4.3 土壤温度的模拟

史灌河流域观测提供的土壤温度资料分3层(15, 30, 45 cm),我们选用 CLM 输出的各层土壤温度与观测高度相对应的层次进行一些初步的比较与分析。

#### 4.3.1 旱地下垫面

图8和9分别是旱地在5和8月份各层次土壤温度的观测值和 CLM 模拟值比较。图8a和9a是土壤温度的观测值,图8b和9b模拟的土壤温度。

CLM 模拟出了旱地土壤温度的日变化,可以看到土壤温度存在着明显的周期变化。在5月12,13日和8月18~20日的3d,天气晴好,等温线密集,而5月14,15日阴天,等温线稀疏。但模拟的温度比观测值普遍偏低,且位相滞后在1h左右。

无论是5月份还是8月份,土壤温度模拟都偏

低,根据前一部分能量收支分析,5月份,对潜热的模拟偏高,引起了对土壤温度模拟的偏低,从而对净辐射通量模拟偏高。而8月土壤温度模拟偏低则是由于对辐射通量模拟偏低造成,造成辐射通量模拟偏低的原因则是对平均反照率模拟偏低。

#### 4.3.2 水田下垫面

图10和11是水田在5和8月份的土壤温度的模拟值和观测值的比较。CLM 很好地模拟出土壤温度的日变化,各层的温度也十分接近。5月12日之后,土壤温度观测值迅速降低,而 CLM 模拟的土壤温度降低要缓慢得多。这可能是模式中土壤热容量和热传导同实际存在着一定的差别。

水田8月份的土壤温度的模拟无论从日变化的位相上还是温度的变化振幅,都同观测值十分一致,同5月份相比有很大的改善。而从4.2.3中分析可以看出,对潜热通量的过高计算,引起了土壤总体能量流失,进而影响对土壤的温度的预报。而水田8月份的模拟结果过低计算了潜热,抵消了8月份对辐射通量的偏低模拟,从而扭转了对土壤温度过低计算的趋势。

上述4个试验的试验结果以及它们同观测值的比较可以看出,CLM 在两种垫面两个季节条件下,可以准确地模拟出感热和潜热通量,并且成功地模

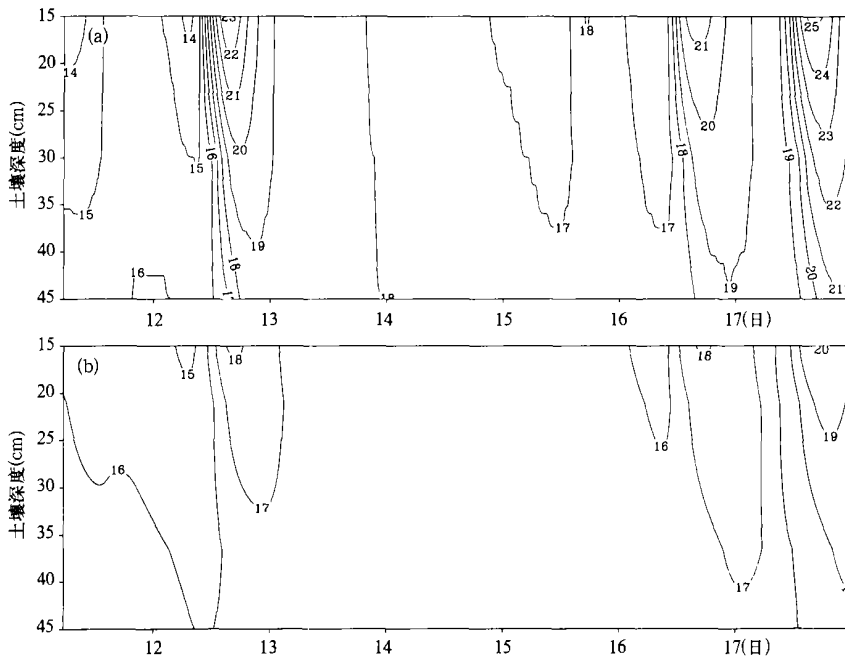


图8 1996年5月11~18日旱地15~45cm土壤温度模拟值和观测值的对比 (a. 观测值, b. 模拟值)

Fig. 8 variation of observed and simulated soil temperature(15-45 cm) at a farm site in 11-18 May, 1996(a. observation, b. simulation)



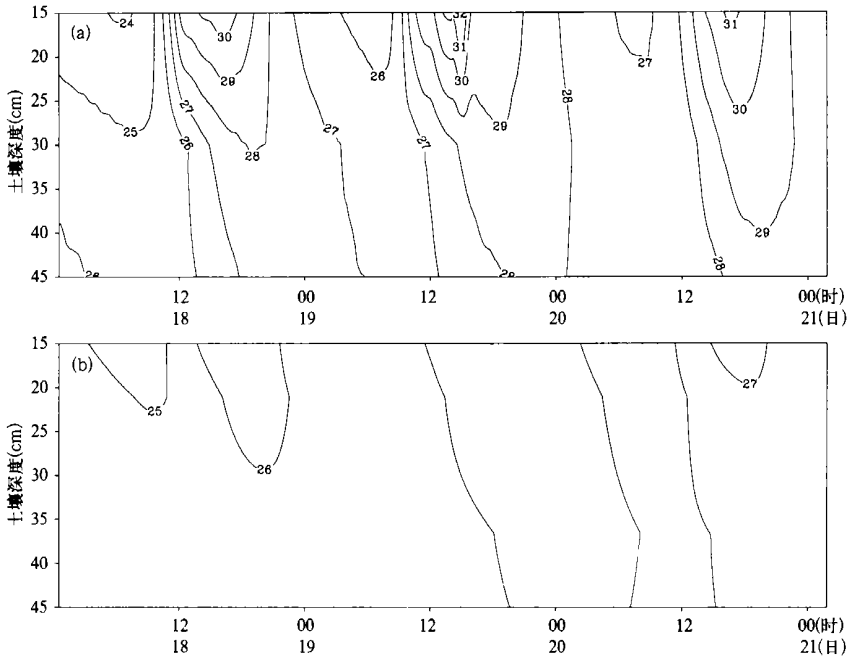


图9 1996年8月18~20日旱地15~45 cm土壤温度(°C)模拟值和观测值的对比  
(a. 观测值, b. 模拟值)

Fig. 9 variation of observed and simulated soil temperature(15-45 cm)  
at a farm site in 18-20 August, 1996(a. observation, b. simulation)

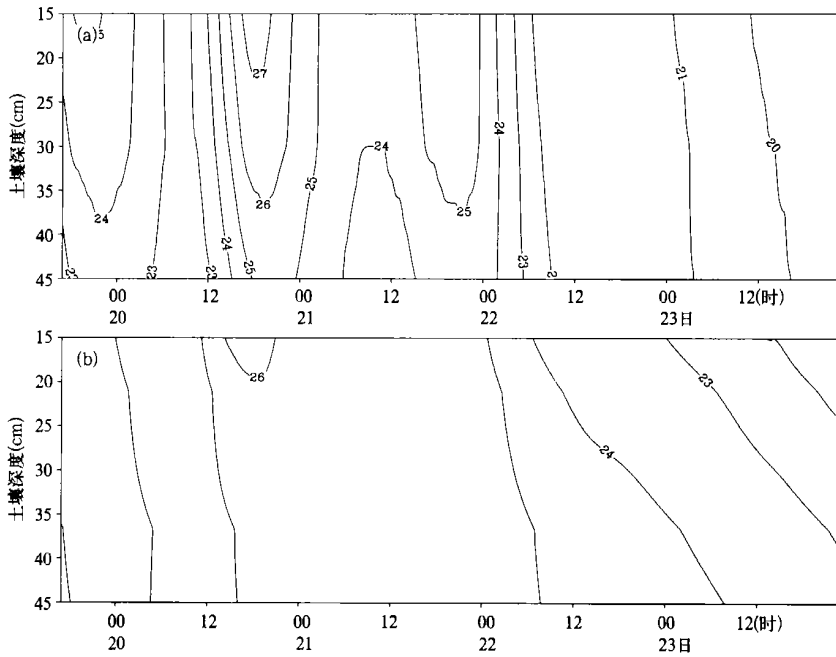


图10 1996年5月19~23日水田15~45 cm土壤温度模拟值和观测值的对比  
(a. 观测值, b. 模拟值)

Fig. 10 Variation of observed and simulated soil temperature(15-45 cm)  
at a paddy site in 19-23 May, 1996(a. observation, b. simulation)

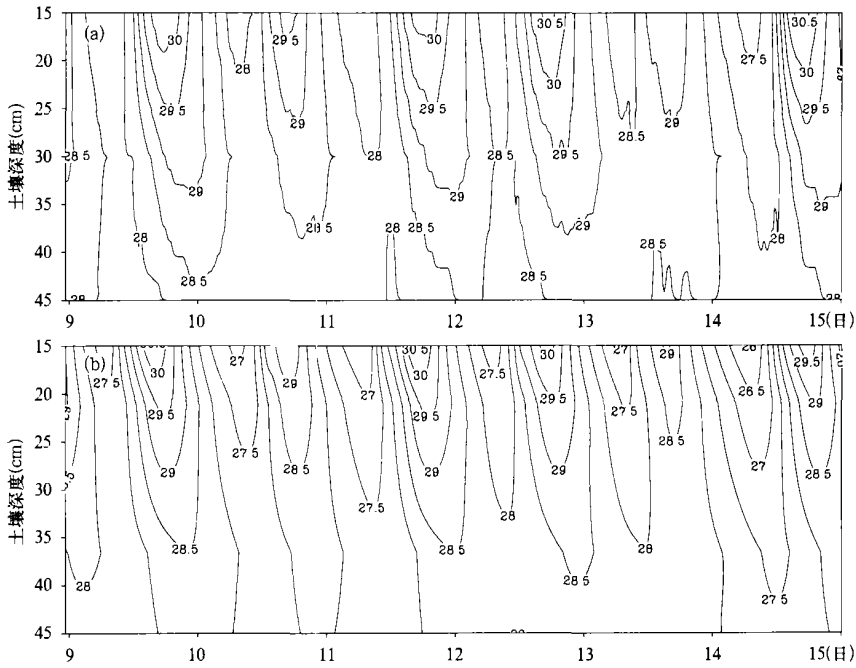


图 11 1996 年 8 月 9~ 15 日水田 15~ 45 cm 土壤温度模拟值和观测值的对比  
(a. 观测值, b. 模拟值)

Fig. 11 Variation of observed and simulated soil temperature(15- 45 cm)  
at a paddy site in 9- 15 August1996. (a. observation, b. simulation)

拟出土壤内温度的分布和变化。感热和潜热通量的主要特征与观测一致, 主要的问题是, 潜热的模拟偏大时, 感热模拟往往偏小, 反之亦然, 而且不同的季节和不同的下垫面有很大的差别。究其原因, 一是植被参数化的问题, 二是下垫面类型划分的问题。CLM 对旱地下垫面的土壤温度模拟偏低, 比观测值位相滞后, 这除了同土壤特征参数选择有关之外, 更重要的是对植被的特征描述存在偏差, 进而影响表面温度的模拟。

### 5 结 论

本文通过 HUBEX 1998 年淮河观测资料以 CLM 对中国亚洲季风区域陆面过程特征进行了数值模拟。试验结果表明, CLM 较好地模拟出感热通量、潜热通量以及部分辐射分量, 在气候系统模式中, 这一点是最为重要的。CLM 也能够很好地模拟出温度在土壤各个层次的时空分布, 在缺少土壤内部温湿分布资料的情况下, 可以利用陆面模式做一

些相关研究。由于对表面反照率模拟的偏差, CLM 对净辐射模拟普遍偏低。5 月份, CLM 过高计算了潜热, 从而对土壤温度的模拟偏低。而 8 月份, CLM 对潜热模拟偏低, 由于净辐射的偏低使 8 月份模拟的旱地土壤温度仍然偏低; 但 8 月份的水田处于灌溉期, 而且气温较高, 蒸发强烈, 模式对潜热的过低计算抵消了对净辐射的低估, 而对土壤温度的模拟最为合理。

从模式本身的角度来看, 观测和模拟之间出现偏差可能是下面几个原因造成的: 模式参数化中对一些物理过程的描述不够详细; 已有植被分类在中国部分区域不尽合理以及一些方案中的重要参数的不确定性。因而, 进一步研究适合中国下垫面状况的分类方法是非常必要的, 而利用其他的试验资料进行研究, 并将陆面模式与气候模式耦合, 将是本文以后的工作。

致谢: 感谢戴永久博士提供 CLM 源程序并对 CLM 的结构做了详细的讲解。

### 参考文献

1 Chamey J G. Dynamics of deserts and drought in the Sahel. Quart J Roy Meteor Soc, 1975, 101: 193~ 202

- 2 Garratt J R. Sensitivity of climate simulation to land-surface and atmospheric boundary-layer treatments: A review. *J Climate*, 1993, 6: 419~ 449
- 3 Dickinson R E. The force-restore model for surface temperature and its generalizations. *J Climate*, 1988, 1(10): 1086~ 1097
- 4 Dickinson R E, Henderson-Sellers A, Kennedy P J, et al. Biosphere Atmosphere Transfer Scheme(BATS) for the NCAR Community Climate Model[R]. NCAR Techn Note 275+ STR, 1985
- 5 Sellers P J, Mintz Y, Sud Y C, et al. A simple biosphere model(SiB) for use within GCMs. *J Atmos Sci*, 1986, 43(6): 505~ 531
- 6 Sato N, Sellers P J, Randall D A, et al. Implementing the simple biosphere model in a general circulation model. *J Atmos Sci*, 1989, 46(18): 2757~ 2782
- 7 Xue Y, Sellers P J, Kinter J L, et al. A simplified biosphere model for global climate studies. *J Climate*, 1991, 4(3): 345~ 36
- 8 Sellers P J, D A Randall, Collatz G J, et al. A revised land-surface parameterization(siB2) for atmospheric GCMs. Part I: Model formulation. *J Climate*, 1996, 9(4): 676~ 705
- 9 郭维栋, 孙菽芬. 土壤热异常对地表能量平衡影响初探. *气象学报*, 2002, 60(6): 706~ 714
- 10 Ji J J, Hu Y. A simple land surface process model for use in climate study. *Acta Meteor Sinica*, 1989, 3(3): 344~ 353
- 11 Dai Yong jiu, Zeng Qingcun. A land-surface model(IAP94) for climate studies, Part I: Formulation and validation in off-line experiments. *Adv Atmos Sci*, 1998, 14(4): 433~ 460
- 12 Ji Jinjun. A climate-vegetation interaction model: Simulating physical and biological processes at the surface. *J Biogeography*, 1995, 22: 445~ 451
- 13 Sun S F, Ji Jin, Xue Y K. A simple snow-atmosphere-soil transfer model. *J Geophys Res*, 1999, 104(D16): 19587~ 19597
- 14 Dickinson R E, Henderson-Sellers A, Kennedy P J. Biosphere-Atmosphere Transfer scheme(BATS) Version 1e as coupled to the NCAR Community Climate Model[R]. NCAR Techn. Note 378+ STR, 1993
- 15 Bonan G B. The land surface climatology of the NCAR land surface model coupled to the NCAR community climate model. *J Climate*, 1998, 11: 1307~ 1326
- 16 Xuebin Zeng, Muhammad Shaikh, Yonjiu Dai, et al. Coupling of the common land model to the NCAR community climate model. *J Climate*, 2002, 15: 1832~ 1854
- 17 Qu W, et al. Sensitivity of latent heat flux from PILPS land-surface schemes to perturbations of surface air temperature. *J Atmos Sci*, 1998, 55(11): 1909~ 1927
- 18 Adam Schlosser, et al. Simulations of a boreal grassland hydrology at Valdai, Russia: PILPS phase 2(d). *Mon Wea Rev*, 2000, 128: 301~ 321
- 19 Henderson, Sellers A Pitman A J, et al. The project for Intercomparison of land surface parameterization scheme(PILPS): Phase 2 and 3. *Bull Amer Meteor Soc*, 1995, 76(4): 489~ 503
- 20 孙岚, 吴国雄, 孙菽芬. 陆面过程对气候影响的数值模拟: Ssib 与 IAP/LASGL9R15 AGCM 的耦合及其模式性能. *气象学报*, 2000, 58(2): 179~ 193
- 21 Yang X, et al. Validation of IAP94 land surface model over the Huaihe River Basin with HUBEX field experiment data. 2001
- 22 Running S W, Loveland T R, Peerce L L. A vegetation classification logic based on remote sensing for using in global scale biogeochemical models. *Ambio*, 1994, 23: 77~ 81
- 23 胡国权, 丁一汇. HUBEX 试验期间不同地面的能量收支研究. *气候与环境研究*, 2001, 6(2): 228~ 233
- 24 Chen, et al. Cabauw experimental results from the project for intercomparison of land-surface parameterization Schemes. *J Climate*, 1997, 10: 1194~ 1215
- 25 Bonan G B. *Ecological Climatology: Concepts and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002

## NUMERICAL SIMULATION OF CLM OVER HUAIHE BASIN

Huang Wei Guo ZhenHai Yu Rucong

(*LASG, Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing 100029*)

### Abstract

The Common Land Model (CLM) is used to simulate the characteristics of exchange of sensible and latent flux and thermodynamic process in soil, and validate the simulation of CLM on two underlying surfaces, dry farm and paddy field, in two vegetative seasons, May and August, over Huaihe River basin using the data of HUBEX/GAME in 1998. The comparison result of simulated and observed data shows that CLM is not only able to simulate basic characteristics of energy and mass transfer between land and air, but also able to simulate the heat transfer in soil. The study concludes that:

(1) The simulation at dry farm shows that the latent heat flux is underestimated and the sensible heat flux is accordingly overestimated when the turbulence process is strong at noon in both May and August. In May, the latent heat is overestimated and simulated errors vary distinctly with the change of stability of the surface layer atmosphere. In August, the latent heat is always underestimated in varied atmosphere stability. The mean simulated error of latent heat and sensible heat is about  $10 \text{ W/m}^2$ . In both May and August, the simulated soil temperatures are lower than observation and there is one-hour late in phase difference.

(2) The simulation at paddy field shows that the simulated net solar fluxes in CLM are lower than observation by  $10 \text{ W/m}^2$  in both May and August. The latent heat flux is usually overestimated in May while it is underestimated in August except that it is overestimated when turbulence transfer is strong. The simulated soil temperatures in August are plausible and in accordance with the observed data from both the daily variation in phase and range of temperature variation. Compared with May, the simulation of thermodynamic process in soil is greatly improved.

(3) The comparison results of four simulating experiments show that the simulation of CLM is, to great extent, influenced by the choice of underlying surface types and the characteristics of water and heat transfer in soil. So it is necessary to identify precisely the parameters of underlying surfaces when CLM is applied.

**Key words:** Land process model, HUBEX, CLM, Flux.