

文章编号: 1006-4354 (2005) 06-0013-02

公用陆面模式(Community Land Model 3.0)简介

杜川利^{1,2,3}, 刘晓东¹

(1. 中国科学院地球环境研究所, 陕西西安 710075; 2. 陕西省气象局, 陕西西安 710014;

3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: NCAR 最新陆面模式 (the Community Land Model 3.0) 可以模拟地表面物理过程与生物地球化学过程, 动态描述植物与非生物环境之间物质和能量交换等过程以及影响植物的生理生长过程, 是研究陆—气相互作用和生态环境变化的有利工具。

关键词: 生态系统; 气候变化; 陆面过程

中图分类号: P435

文献标识码: A

地球表面是大气系统唯一具有物理意义的界面,也是大气能量的主要输入面,与大气之间的物质、能量交换对气候、大气环流和生态环境等至关重要。陆面过程作为大气边界层科学中的一项前沿科学问题,在陆—气混合模式中非常重要。自 20 世纪 70 年代以来,陆面模式发展取得了很大进展,先后发展了数十个陆面模式,由早期的简单“Bucket”模式,逐渐发展到了能够较全面描述土壤—植被—大气相互作用的综合模式^[1]。目前 NCAR 提出的 CLM3(Community Land Model)陆面过程模式对解决这些问题提供了初步研究方向,运用该模式对北半球气候敏感带进行模拟分析,利用动力植被模式、地表径流模式对不同植被、各类冠层进行定性定量分析,可以找到适合中国(尤其是气候敏感带)的生态群落和适宜区域,使得局地生态系统和谐发展。

1 CLM3 的发展历史

CLM3.0 的发展可以追溯到上世纪 90 年代中期,主要是根据当时公认比较成功的三个陆面模式作为蓝本发展而来,三个模式分别是 BATS(the Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme)、NCAR LSM(Land Surface Model)和中科院大气所 IAP94 陆面模式。BATS 是描述土壤—植被—大气相互作用最具代表性的参数化方案,Dickinson 等发展了生物圈—大气传输模式,细致地考虑了植被在地—气相互作用中的重要性,对植被拦截、气孔阻

尼、冠层阻尼和植被对辐射传输等过程进行了全面的参数化处理。NCAR LSM 是由 Bonan 等^[2]发展的一个综合陆面模式,模式除了描述地—气之间的能量、水热通量外,还对生物通量进行描述,模式为一个典型的“patch”模型。中科院大气所 IAP 陆面模式是 1995 年建立的具有中国自主知识产权的多孔介质混合扩散陆面过程模式,该模式允许土壤中水分各相共存,能够客观地反映土壤、植被层和雪盖内部多相水分的垂直交换,另外,模式还作为我国唯一的陆面过程模式参加了国际陆面过程模式比较计划(PILPS)。

CLM3.0 则综合考虑了上述 3 个模式的特点,主要有 4 个部分:(1)生物地球物理过程,指陆—气在能量、水份、动量方面的交换;(2)水份循环,包括植被截留、透冠雨和径流,以及渗透、土壤含水、积雪和地表径流,这些要素直接或间接影响着降水、气温和径流,并最终通过水文模式计算输入至全球主要河流系统;(3)生物地球化学过程,指陆地同大气之间的化学成分的交流,主要有生物通量、碳、粉尘、干沉降等的物质交换;(4)动态植被,指动态地描述植被和环境之间的物质、能量交换,以及在气候或环境变化情况下植被的生长状况。

2 CLM3 的数据结构

CLM3 模式中陆面的非均匀性是由嵌套的次网格层次来表示的,每个网格可以由陆地单元、积雪或

收稿日期: 2005-09-09

作者简介: 杜川利(1970-),男,陕西西安人,博士生在读,高工,从事气候变化和数值模式研究。

土壤柱单元和 PFTs(植物功能类型)组成。第一层次网格是陆地单元,可以分为 5 类,分别是冰川、湿地、植被、湖泊、城镇,这一层将取得最主要的次网格空间分布,实际的土壤性质如质地、色泽、深度以及热传导性都在该层定义。第二层是柱单元,用来获取每一个陆地单元中土壤或积雪状态变量的潜在变化。例如土壤单元可以包含有土壤水份和温度在垂直分布发展不同的柱单元,这些柱单元用 10 层土壤或至多 5 层积雪来表示,而这些柱单元的主要特征就是在土壤或雪中水份和能量的状态变量。第三层是 PFT 层,用来揭示不同植物之间功能特征状态在生物地球物理和生物地球化学上的区别。在一个柱

$$-\bar{\mu} \frac{dI \uparrow}{d(L+S)} + [1 - (1 - \beta)\omega]I \uparrow - \omega\beta I \downarrow = \omega\bar{\mu}K\beta_0 e^{-k(L+S)} \quad (1)$$

其中 $I \uparrow$ 和 $I \downarrow$ 代表单位入射通量向上、向下的漫射辐射通量, K 是入射光线的光学厚度, $\bar{\mu}$ 是单位叶茎面积的漫射光学厚度的倒数平均, ω 是散射系数, β 和 β_0 分别是漫射光和直射光上散射系数, L 是叶面

$$C_s \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} [- (k_s + \rho_w L D_{vT}) \frac{\partial T}{\partial z} - \rho_w L D_{v0} \frac{\partial \theta_{liq}}{\partial z}] + \rho_{ice} L_f \frac{\partial \theta_{ice}}{\partial t} \quad (2)$$

其中 C_s (单位: $J/m^3 \cdot K$) 为单位体积土壤热容量, T (单位: K) 为土壤温度, k_s (单位: $W/(m \cdot K)$) 为土壤热传导率, L (单位: J/kg) 为水蒸发潜热, ρ_w (单位: kg/m^3) 为液态水密度, θ_{liq} (单位: m^3/m^3) 为土壤饱和和液态水含水量, ρ_{ice} (单位: kg/m^3) 为冰的密度, L_f (单位: J/kg) 为冰的溶解潜热, θ_{ice} (单位: m^3/m^3)

$$\Delta W_{can} + \Delta W_{sno} + \sum_{i=1}^N (\Delta w_{liq,i} + \Delta w_{ice,i}) = (q_{rain} + q_{sno} - E_v - E_g - q_{over} - q_{drai} - q_{rgwl}) \Delta t \quad (3)$$

其中 ΔW_{can} 为冠层水量, ΔW_{sno} 为积雪量, Δw_{liq} 为土壤含水量, $w_{ice,i}$ 为土壤中固态水含量(以上单位都是 kg/m^2), q_{rain} 为液态降水, q_{sno} 为固态降水, E_v 为植被蒸发量, E_g 为地表蒸发量, q_{over} 为地表径流, q_{drai} 为地下排水, q_{rgwl} 为冰川、湿地、湖泊等类型引起的径流(以上单位都是 $kg/m^2 s^{-1}$)。

4 结束语

CLM3 模式主要反映土壤、植被、大气之间的反馈作用,用于研究区域植被的演变规律、地表变化、水热通量传输过程及其机制,既能描述不同陆面状况地一气的交换过程,又能反映生态系统与局地气候间的反馈,是当前不可多得的一个综合陆面模

单元中可以容纳至多 4~15 种在生理和结构不同的 PFT, 光地类型的土壤也包括在内。陆面过程中所有的通量都定义在 PFT 层。

3 CLM3 主要物理过程

CLM3 详细地考虑了地—气系统中的积雪、土壤水热传输、植被同大气的物质能量交换及湍流边界层中的各种生物地球物理过程,其中包括 10 层土壤、3~5 层积雪、植被和边界层,组成一个完整的土壤—积雪—植被—大气相互作用的系统。主要有 3 类物理过程。

(1) 冠层辐射输送,采用 Dickinson 和 Sellers 的双流逼进方法计算,可以表示为:

指数, S 是茎面指数。

(2) 土壤热传输,考虑土壤热传导、水汽扩散、土壤水相变对热传输和能量平衡的影响,可表示为:

为土壤固态水含量, D_{vT} 为土壤水汽温度梯度下的扩散率, D_{v0} 土壤水温度梯度下的扩散率。

(3) 系统水份平衡方程,主要包括植被的抽吸过程、积雪的堆积融化、土壤水份变化、地表径流以及相变过程等的变化,可以表示为:

式。

参考文献:

- [1] Henderson-Sellers A, Yang Z-L, Dickinson R E. The project for intercomparison of land-surface parameterization schemes [J]. Bull Amer Meteor Soc, 1993, 74 (7): 1335-1349.
- [2] Bonan G B, Oleson K W, Vertenstein M, et al. The land surface climatology of the Community Land Model coupled to the NCAR Community Climate Model [J]. J Climate, 2002, 15: 3123-3149.