

一个植被模式的检验和它在 陆气相互作用中的应用

薛永康

(美国马里兰大学地理系)

曾凡荣 *Adam C. Schlosser*

(Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies, Calverton, USA)

Samon J. Allen

(Institute of Hydrology, Wallingford, UK)

摘 要 简要介绍了一个植被模式 (Simplified Simple Biosphere Model) 的发展过程及其在气候研究中的作用。许多观测资料被用来检验和标定这个模式。文中着重介绍了俄罗斯土壤湿度资料和非洲的 HAPEX-Sahel 观测资料如何帮助我们改进模式和对陆面过程的机制的认识, 对观测误差的影响也作了讨论。在地气相互作用中, 着重讨论了东亚地气作用的特征。在文中介绍的两个东亚地区的试验中, 尽管地面的异常被假设在东亚的两个不同的地区, 但都对夏季风传输途径上的降水有很大影响。最后用一个区域模式对陆面模式在预测试验中的应用作了简介。初步的结果显示, 这将是一个有很大发展潜力的新领域。

关键词 植被模式 模式检验和标定 东亚陆气敏感性试验 气候预测

1 前言

陆地占据了将近 30% 的地球表面, 它通过大气边界层跟大气交换能量、水分和其他物质。尽管陆地跟海洋是仅有两个重要的大气下垫面, 对陆面过程重要性的认识及对陆面过程的研究都落后于对海洋的研究。研究陆面及大气的相互作用主要有下述几个困难:

(1) 不同于比较均匀的海洋表面, 陆地表面表现了很大的不均匀性。如何在一个全球或区域模式里对陆面过程参数化是一个很大的难题。

(2) 由于陆面过程的时间尺度可能不同于大气中的一些过程, 如何恰当的将这两个过程耦合起来也有相当的难度。

(3) 由于耦合的地气过程是一个非线性过程, 如何从数值模拟中分析出陆面过程的信息是一件很困难的事。在相当长的时间里, 地面过程是被忽略的, 或者仅仅被看作是一个初值过程。

(4) 关于陆面特征的资料主要来源于一些局部的地面调查。在卫星资料出现以前没有定量化的全球资料可以使用, 卫星的出现虽然提供了产生全球范围资料的可能性, 但如何准确的从卫星接收讯号中反演陆面特征是一个正处于探索阶段的课题。

Manabe 等^[1]最早的将一个非常简单的“桶式”模式放到了全球大气模式的表面层中,地面的蒸发跟桶里的水量成正比。当桶里的水分满了后,水就从桶里流出来变成径流。这个模式尽管简单,却被气象界用了将近 20 年,而且作了很多有用的研究。但是由于这个模式过于简单,它对地面的感热和潜热的分配以及水循环中各个分量的分配是不准确的(参阅文献[2])。同时由于它只能提供有限的地面状况的信息,所以越来越不能满足当前科学研究和社会的需要。

由于植被系统是多种环境因素相互作用的综合,有序性最高,对于环境因素的改度最为敏感,植物生态可以看作是环境系统状态的宏观表征^[3]。

从 80 年代初期开始,相对比桶式模式复杂和真实的植被模式发展了起来。迄今为止,比较常用的植被模式有 Dickinson 等的单层大叶面模式(Biosphere-Atmosphere-Transfer-Scheme, 简称 BATS)^[4], Sellers 等的多层大叶面模式(Simple Biosphere Model, 简称 SiB)^[5], 薛永康等对 SiB 模式作了简化的单层模式(Simplified Simple Biosphere Model, 简称 SSiB)^[6], 以及 Koster 和 Suarez 的马赛克(Mosaic)模式^[7]。

本文将简要回顾植被模式的发展过程以及在发展过程中遇到的一些问题。希望这些讯息有助于国内的同行了解国外在此领域的发展概况。

2 植被模式的发展概况

植被模式(以下简称为 SSiB)是 80 年代末期发展起来的,它是根据 Sellers 等 1986 年提出的 SiB 作了相当程度的简化,这些简化主要是植物中的辐射传输、空气动力阻力系数和植物气孔阻力系数的计算。植被的结构也由二层改成了一层。经过简化后,模式中的参数减少了一半,在大气耦合模式中的计算时间也减少了一半。

图 1 是 SSiB 的示意图。SSiB 有 1 层植被,3 层土壤以及 8 个预报变量(3 层土壤的湿度、植被表面的含水量,土壤表面的积雪以及叶面温度)。土壤的温度用强迫恢复(force restore)方法来解,所以只有 2 个预报量:土壤表面温度和土壤深层温度。模式用叶面气孔阻力系数(r_c),土壤阻力系数(r_{soil}),植被边界层阻力(r_b)和 2 层空气动力阻力系数(r_a 和 r_d)来控制地气之间的动力、热力和水分交换。

SSiB 的发展和改进始终紧密的与实际应用相结合,很多观测的资料被用来检验它的模拟结果。应用这个模式,我们主要做了 4 个方面的工作:

- (1) 用地面实测的资料标定和发展 SSiB;
- (2) 将 SSiB 耦合到不同的全球大气和区域大气模式中;
- (3) 运用耦合的大气和陆面模式作气候敏感性试验,近年来我们又用耦合的区域模式来提高预报精度;
- (4) 运用卫星资料到全球模式中去改进模式中地面特征的描述,运用 SSiB 跟卫星资料作地面特征的反演。

由于篇幅的关系,本文只介绍(1)和(3)。

我们用了大量的观测资料来检验、标定和发展模式(见表 1)。亚马孙雨林的观测资料是我们最早用的资料^[6]。我们选用这组资料是由于热带雨林的感热和潜热相当大,雨林的动力结构和辐射传输都比较复杂。同时大规模的雨林采伐对地球的生态构成了很

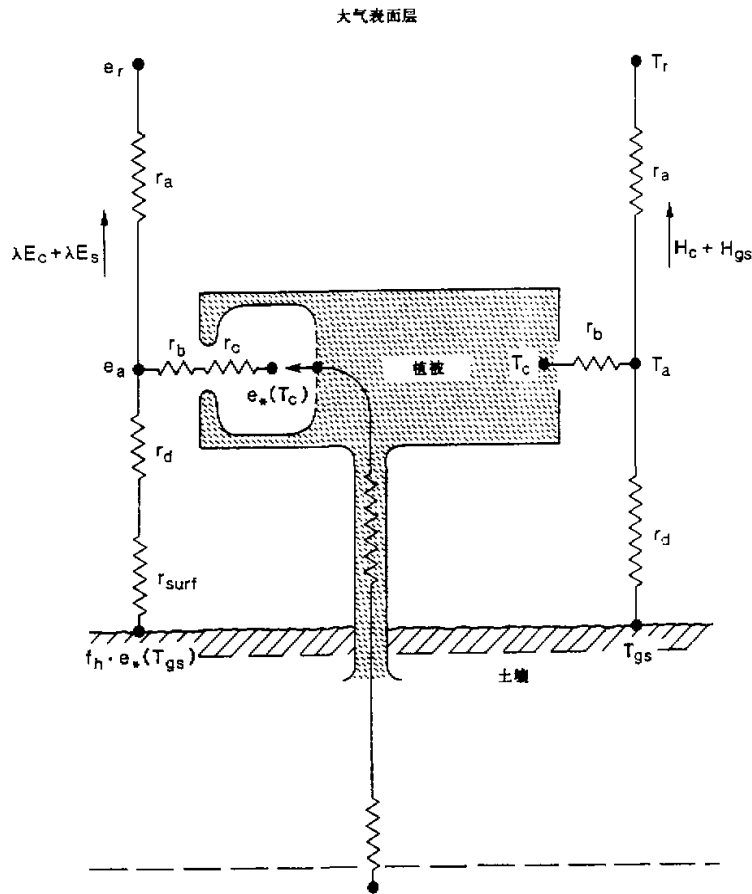


图1 植被模式示意图

表1 SSiB 参与的鉴定和标定试验

试验名称	植物种类	模式数 [*]	比较项目	SSiB 参与者
Amazon	热带雨林	1	通量	Xue, Sellers, Shukla, Kinter
ABRACOS	落叶林	1	通量	Xue, Basetable, Dirmeyer, Sellers
Cabauw ^{**}	草地	23	通量	Schlosser, Xue
Cabauw	草地	3	通量	Schlosser, Xue, Schultz
FIFE	草地	4	通量	Xue, Takayabu, Zeng
俄罗斯土壤湿度	不详	2	土壤湿度	Schlosser, Xue
Hapex-Mobilhy ^{**}	农作物及裸露土壤	14	土壤湿度	Xue, Zeng
HAPEX-Sahel	大草原, 稀草	1	通量, 土壤湿度	Xue, Allen, Li
Col de Porte	草地	1	雪	Sun, Ji, Xue
Arkansas ^{**}	树木, 草地, 农作物及裸露土壤	16	河流的流量	Xue, Wang

• 参加比较的模式数
• • PILPS 项目

大的威胁。此后我们又用观测资料对被砍伐掉的雨林地区作了标定^[8]。

在亚马孙雨林标定以后,我们又用中纬度的草地和庄稼的观测资料对模式进行了标定。这些资料包括了法国的 HAPEX-Mobilhy 试验^[9],荷兰的 Cabauw 试验^[2,10],以及俄罗斯的土壤湿度资料试验^[11~13]。最近我们的重点又转到了半干旱地区(非洲的萨赫勒(Sahel)地区)^[14]和积雪。

在上述这些试验中,有部分是国际陆面参数化比较项目(Project for intercomparison of land-surface parameterization schemes,简称 PILPS)的一部分。PILPS 是一个非常活跃的国际合作项目。曾有几十个模式先后参与了它的比较项目。SSiB 是迄今为止几乎参与了每一个 PILPS 比较试验的少数几个模式之一。

这些试验都是不耦合的试验,英文称作 off-line 或者 stand-alone。大气与地面没有反馈。观测到的大气的温度、湿度、风速、降水和向下的长波和短波辐射被用于驱动 SSiB。陆面模式提供辐射能量、感热、潜热、动量和其他预报度量。

在早期的这一类型试验中,只有感热、潜热、动量和地表温度是检验的对象,这主要是由于大气模式需要这几个度量作为下度界的输入。但是由于土壤湿度不仅在计算表面蒸发时是一个重要度量,它本身跟地面的径流及水资源管理密切相关。目前正在发展中的植物生长模式也在很大程度上依赖于正确的土壤湿度预报,所以土壤湿度的模拟也吸引了越来越多的注意力。我们曾作了相当大的努力来改进 SSiB 的土壤水分模拟,在下一节中,我们对这个问题将作较详细的讨论。

迄今为止,对陆面过程的研究集中于对夏季气候的影响。目前陆气相互作用的研究正扩展到冬季气候。所以对雪的模拟也变成了一个热点。我们与中国科学院大气物理研究所的科学家们在这方面有长期的合作。最近我们与孙淑芬合作开展了一个 3 层雪模式为全球和区域气候研究服务^[15]。这个模式已经用法国和俄罗斯的雪资料进行了标定。

在上面这些研究中,只有单站的数据被用于标定。在最新的 PILPS 试验中,Red Arkansas 河流域的 61 个站的数据被用于标定。这次试验的主要重点是河流的径流。同时由于这 61 个站覆盖了相当的区域,根据气象站的数据(降水量和水汽水平输送)地面蒸发总量在整个流域也被推算了出来。这样一个多站点包括了径流和蒸发的标定,标志着陆面模式的标定又进入了一个新的阶段^[16]。

3 单站试验的经验和教训

上面所讲的模式的验证和标定对陆气作用的研究起了很大的推动作用。但如何从这些实验中学到有用的经验教训比单纯的参与一下试验更为重要。下文介绍的俄罗斯土壤湿度的研究是一个很好的例子。

3.1 俄罗斯土壤湿度资料的应用

土壤湿度的观测在俄国的很多水文站中进行了很多年。我们从 130 个站的数据中挑选了有比较完整和可靠纪录的 6 个站。它们的位置在 48~58°N, 40~135°E 之间。这 6 个站的地形都较平坦,所以地形的影响不大。6 个站的数据是从 1978 年到 1984 年,每次观测的间隔是 3 h。

这 6 个站的数据被用于标定 SSiB 和桶式模式。由于没有实际的地面状态的观测资

料，在决定什么样的地面植物和土壤资料用于这两个模式时，尽管这 6 个站的地面植被不很一样，我们统一选择草地作为这 6 个站的植物种类。这是由于 SSiB 和桶式模式都是用在全球气候模式中，在全球气候模式中，这 6 个站所在的格点都属于草地。这次比较的结果显示 SSiB 并不比桶式模式来得好^[11]。这一点当时引起了很大的争议，曾被有一些人拿来作为否定植被模式在气候研究中作用的证据。

首先我们来检查一下俄罗斯的两个水文站的模拟结果，它们是积分后 6 年的平均结果。由于第 1 年积分中土壤湿度处于调整状态(Spin-up)，所以我们舍弃掉第 1 年的结果。图 2 中空心圆圈连线是观测的资料，而实心圆圈连线是模拟的结果。模拟结果显示，SSiB 的土壤湿度显著的低于观测值，同时观测到的春季融雪后土壤湿度的增加也没有体现在模拟中。

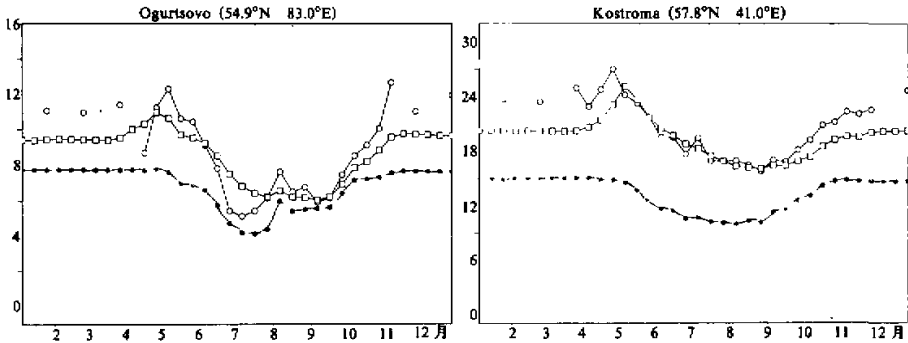


图 2 观测的(空心圆圈)和模拟的上层 1 m 的土壤含水量 (cm)
实心圆圈：过去的模拟值；空心方块：改进参数后的模拟

进一步的分析显示，缺少土壤湿度的春节峰值主要是模式中处理融雪的水分配中的困难，在模式中雪厚度(M_s)的变化是由下述公式来计算的：

$$\frac{\partial M_s}{\partial t} = P_s - S_m + W_f - E_s, \tag{1}$$

其中 P_s 、 S_m 、 W_f 和 E_s 是降雪、融雪、水分冻结和蒸发。第 1 层土壤的水分变化是由下述公式计算的：

$$\frac{\partial S_1}{\partial t} = P + \theta_{12} - E_{gs} - bE_{is}, \tag{2}$$

其中 S_1 是第 1 层土壤含水量， P 是渗透进入第 1 层土壤的水分， θ_{12} 是第 1 层和第 2 层土壤的水分交换， E_{gs} 是土壤的蒸发， E_{is} 是植物的蒸发， b 是植物根部在第 1 层土壤中所占的比例。在原来的模式中，我们假定当土壤表层温度低于临界温度 T_f ($T_f = 273.16$ K) 时，土壤中的水分交换 θ_{12} 和渗透 P 完全停止，融雪完全变成了径流，春节融雪后的湿度峰值就显示不出来。根据俄罗斯的资料，在新的参数化中在冻土情况下 θ_{12} 和 P 不再假定为 0，但是数值比正常的情况要低。由于 θ_{12} 和 P 都跟水力传导系数有关，在新的参数化中，水力传导系数 K 在冻土中跟温度有关，当土壤的温度(T_s)低于 T_f 时，

$$K = K_0 \left(1 + \frac{T_s - T_f}{T_0} \right), \quad (3)$$

其中 K_0 是温度大于 T_f 时的水力传递系数, T_0 是一个参数, 只有在土壤温度 T_s 比 T_f 低 T_0 时, 水分传输才全部停止。我们在计算中令 $-1 < (T_s - T_f) / T_0 < 0$ 。

另一个俄罗斯土壤湿度模拟中的问题是模拟值的湿度值和观测值的显著的差异。尽管模拟值的季节变化跟观测值一致, 但模拟值似乎“平行”的从观测的位置上移出来, 这一现象在春季尤其明显。由于春季比较潮湿, 土壤中的水分非常接近于田间持水量, 而土壤的田间持水量是由土壤的性质决定。这个结果表明, 模式中所用的土壤参数是不准确的。

前面文中已经指出, 由于没有实测的土壤参数, 我们用了全球模式中的植被土壤参数来作俄罗斯土壤试验, 结果表明这些用于大尺度的参数, 并不适合于俄罗斯这样的单站小尺度试验中。观测资料显示, 这些土壤参数在小尺度中可以有几个量级的变化^[17]。

根据上述分析, 我们改进了水分在冻土中传输的参数化, 又在合理的范围内调整了土壤的水分传输系数 K_f (因为在 SSiB 中, 田间水分持有量是跟 K 紧密连接在一起的, 有兴趣的读者可参阅文献[9]。新的模拟结果比过去有了显著不同 (见图 2)。所以俄罗斯土壤水分资料的标定, 既改进了模式又帮助我们在地面水平衡机制的了解。

3.2 HAPEX-Sahel 试验的启示

HAPEX-Sahel 是美国水文所于 1992 年 8 月在非洲尼日尔的尼亚美进行的一次实地观测试验。萨赫勒是一个半干旱区, 位于撒哈拉大沙漠的南部。当地的植物有小米、灌木、稀疏树木和草地的混合。这次试验中测量了不少植物的资料, 包括植物覆盖率、叶面指数、表面粗糙度等。同时对蒸发、感热和动量的传输以及土壤湿度都进行了测量。当地的主要植被是休耕的稀疏树木草原(fallow-Savannah), 这是一种比较典型的二层植被结构。

前文已经提到, SSiB 是从二层植物结构的 SiB 简化而来。现实世界里植物结构是很复杂的。如何真实且简单地模拟现实世界是摆在陆气相互作用研究前的一个重大课题。我们在发展 SSiB 时, 发现一层植被模式可以模拟出与二层植被模式相接近的结果

果^[6]。但是我们一直没有得到过从二层植物的地点观测到的资料来验证这一结论。所以 HAPEX-Sahel 的观测资料是一组比较理想的资料, 可用来鉴定过去的结论。

图 3 给出了在整个观测区间的日平均感热, 图中的 3 条线分别代表观测值、二层模式及一层模式的模拟值。尽管 SiB 作为一个二层模式更接近萨赫勒的休耕的稀疏树木草原, 但计算结果显示二层模式的结果跟一层模式非常接近。模式的复杂程度并没有导致结果的改善。

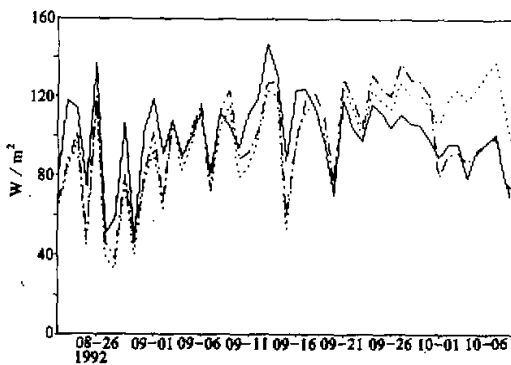


图 3 日平均感热 (单位: W/m^2)
实线: 观测值; 点划线: SSiB; 虚线: 二层叶面结果

在最后几天干旱的日子里, 二层模式的结果似乎更差, 但因为这只有几天所以并不能由此作出任何结论。

这两种模式结果很接近的原因是多方面的。多层植被模式的优点是较真实地反映了动力和辐射的传输过程(包括植被之间的多次辐射反射), 但我们在二层模式中对植被动力阻力系数和辐射传输作参数化时, 已考虑了这些过程。所以在这一点上, 我们是用更有效的方式保持了多层模式的特征。

至于植物的有效蒸发面积, 试验结果显示, 把它们分割成二层还是合并成一层并没有太大的影响。

在这种标定试验中, 很重要的一条是估计观测值的误差, 尤其是在一些自然条件差的地区, 这些误差可能会相当大。如果盲目调整模式使它模拟的结果跟观测值一致, 会造成很大的问题。

图 4a 是模拟的日平均的地表温度和观测值。很明显, 模拟值有相当大的偏冷的系统误差。为了查出原因, 我们分析了整个观测期间的平均日变化(见图 3b)。结果显示这个偏冷主要是在晚上造成的。

我们对观测的误差也进行了分析。在理想的情况下, 观测到的净辐射(包括长、短波)应该等于观测到的感热、潜热和传到土壤中的热量的总和。我们的计算显示, 尽管对于日平均值而言, 它们是很接近的, 但是对于日变化的情况(图 3c), 在白天净辐射

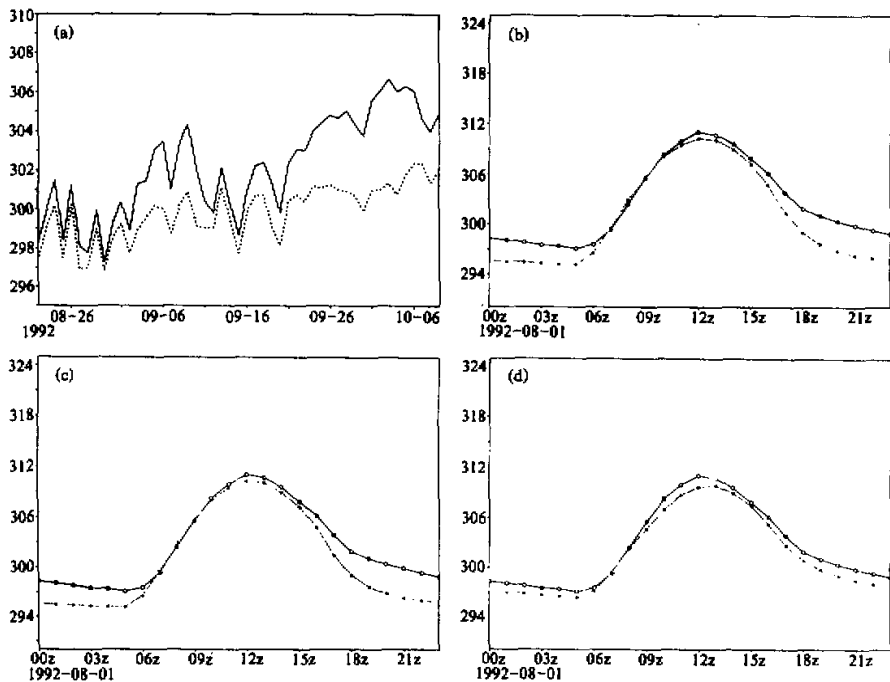


图 4 HAPEX-Sahel 的结果

(a) 观测的(实线)和模拟的(虚线)日平均地表温度; (b) 观测的和模拟的平均日变化温度; (c) 观测的净辐射(实心圆); 能量总和(空心圆)

大于通量,在晚上净辐射又小于通量。由于模式中是用净辐射驱动模式,所以模拟和观测的不一致也就不奇怪了。

为了确认这个观测误差是我们模拟中误差的重要原因,我们用感热、潜热和传到土壤的热量的总和来作为净辐射通量,然后用这个理想的净通量来驱动模式,结果显示(见图 3d)模拟的地表温度比较接近于观测值。同时其它的感热和潜热的模拟也都改进了。由于篇幅的关系,这里就不做进一步的介绍了。

由上述俄罗斯和 HADEX-Sahel 两个例子可见,这种标定过程确实帮助了地面模式的发展。SSiB 参加了大量的地面模式比较的科研项目,但我们的目的是利用这些标定来加深对地气作用的机制的认识和改进模式,我们从不盲目的通过调整参数来使得模拟和观测值一致。由于我们的地面模式既要应用在全球也要应用在区域模式中,盲目地将模式调整去适应某一个单点观测值是很危险的。

4 区域性地气相互作用的研究

我们所作的模式发展工作是为地气相互作用的研究服务的。在早期的气候研究中,地面作用主要体现在地形。后来地面水分的作用^[11,18,19],地面反照率的作用^[20]和粗糙度的作用^[21]也被引入了全球气候模式中加以考虑。但事实上,植物对大气的作用远比这些要多,比如植被的气孔阻力就是一个很关键的因素,但是长期被忽略了。

SSiB 被耦合到了很多全球的大气环流模式和区域模式中去。这些模式中包括了美国大气海洋研究中心(COLA),美国国家环境预报中心(NCEP,原来的 NMC),美国宇航局(NASA)和中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室的全球模式中。

利用陆气耦合模式,我们作了一些区域性的研究。其中包括了非洲沙漠化与干旱的关系^[22,23],内蒙古和蒙古草原的沙漠化对东亚夏季风的影响^[8],亚马孙森林砍伐对局地气候的影响^[24]和美国中部的植物特征对美国气候的影响^[25]。

迄今我们所作的这些区域性研究属于敏感性试验,并具有以下几个特点:(1)在试验中,局部地区的植被状况变化很大,比如从草原到沙漠,我们利用这种激烈的改变来产生足够大的信号,使我们比较容易识别由地面过程引起的气候变迁;(2)在所有这些试验中,我们都用了多个样本(不同的初值条件);(3)对于模拟的结果和分析主要着重于月平均和季平均。上述这些设计都是用来降低“噪音”,检测出真正的地气相互作用的信息。这些“噪音”主要是从天气系统本身和数值模式中产生的。这里必须要指出的一点是大多数我们的试验都是短期积分(3个月)。但从这些试验中得到的结果基本跟长期积分相一致。比如我们在萨赫勒试验中3个月的模拟结果^[22]与后来的4年积分^[23]是一致的。由于短期积分比较容易进行,所以这些短期积分可以用来作为探讨机制的很好工具。短期积分的最主要缺点除了不能讨论季节变化之外,最主要的是不能研究地面的水平衡,因为地面的水分在模式中要调整一个相当的时间才能达到平衡。

在这些试验中,研究的重点是降水及大气和地面的水循环、地面温度及大气和地面能量平衡。我们最近已经将研究对象扩展到河流的流量^[26]。

我们做过的所有试验都证明了陆面过程在气候过程中的重要性,并帮助我们了解陆

气相互作用的表面形式和动力机制。

陆面过程对区域气候的作用在不同的区域中有不同的特点, 这是由于地气作用跟区域的天气和环流特征、地形、地理位置都有很大的关系。北美的试验显示一个异常的地面热源仅改变这个区域上空的大气状态^[27], 非洲萨赫勒的地面异常改变了非洲季风的推进, 在沙漠化试验中造成了北旱南涝现象。

由于强烈的东亚夏季风和复杂的地形, 东亚的地气作用和其他区域形成了明显的对照。我们在蒙古和内蒙古草原沙漠化的试验中将那两个地区的地面由草原改为沙漠 (图 5a 中用粗黑线围住的地区), 并将耦合的大气模式对两种不同的地面状态从 6 月到 8 月分别积分。图 5 是 3 个月平均的降水和地表温度的差 (“沙漠化”减去了“草地”)。从图中可以看出地面温度的变化主要集中在沙漠化地区 (图 5b), 但降水以及大气的变化一直延伸到孟加拉湾。降水的变化主要是沿着季风传播的路径。

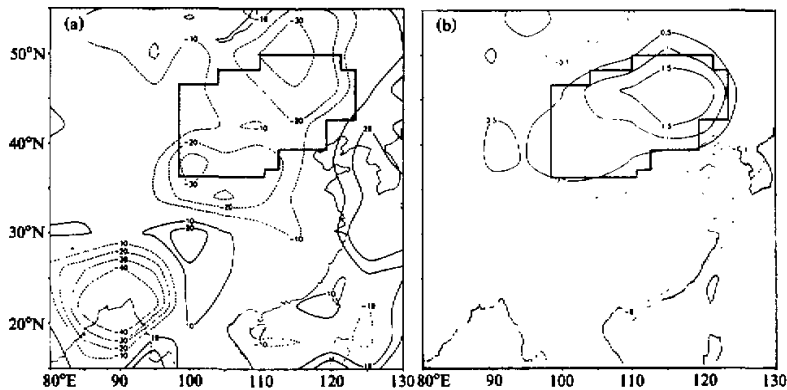


图 5 (a)“沙漠化”试验减去“草地”试验的 6~8 月 3 个月平均的雨量 (mm/月);

(b)“沙漠化”试验减去“草地”试验的 6~8 月 3 个月平均的地面温度 (K)

沙漠化区由粗黑线围住

在另一个试验中, 我们改变了农作物区的地面状态 (图 6a 的阴影地区)。当我们把农作物区的植被改成纯土壤以后, 对两种地面状态我们也是 6~8 月共 3 个整月分别积分。图 6b 和 c 是降水和温度在这两种地面状态下积分的差值。尽管地面状态改变的区域不同于内蒙古草原。但图 6 显示它们有共同点。在图 6 中地面温度异常区主要仍在作物区内, 但是最大雨量的改变还在季风传输的路线上, 显示了强烈的地气相互作用。东亚地区的水汽输送在夏季主要来源于季风, 地气相互作用引起的水循环的改变对季风有很大的影响。如果在研究地气作用时只把眼光局限于很小的局部区域, 我们可能会错失陆面过程的信息。

这里必须指出的是, 上述两个例子的结果都是跟模式本身有关。由于东亚天气系统的复杂性, 要全面了解东亚陆气相互作用的机制, 用更多的模式作这方面的研究是必要的。

由于上述敏感性试验的成功, 我们进一步运用耦合模式来改进天气过程的预测。在这些预测研究中对地面状态不作剧烈的改变, 而是试图用真实的陆面模式和陆面资料来改进预测。我们是在区域模式中进行这一试验^[27,28]。

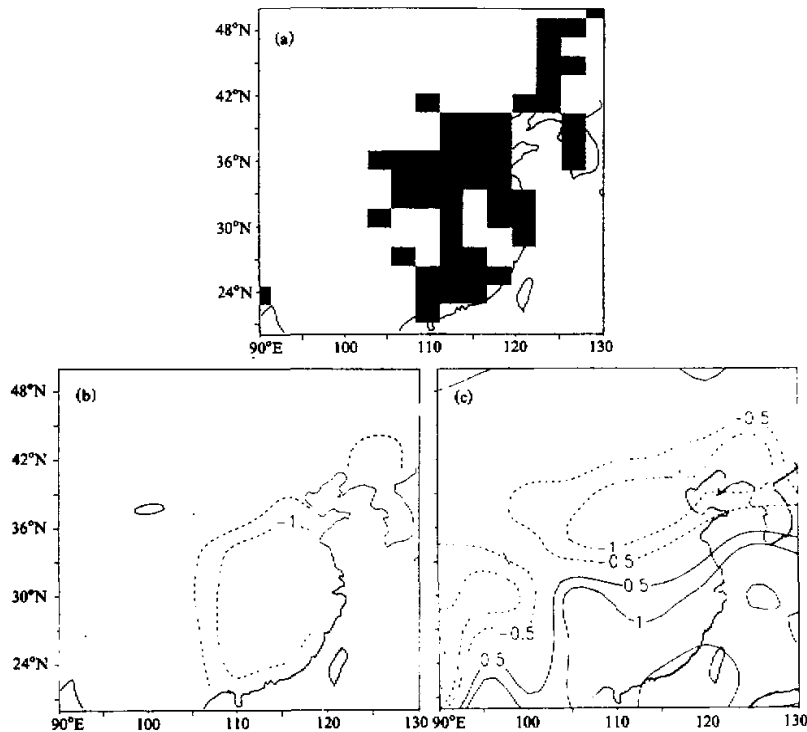


图 6 (a) 农作物区 (阴影部分), (b) 6~8 月平均的地面温度差 (K) (农作物减去单纯土壤)
(c) 6~8 月平均的降水差 (mm/月) (农作物减去单纯土壤)

我们把 NCEP 的 80 km 的 Eta 区域模式耦合起来用再分析(reanalysis)的资料作区域模式的初值和侧边界条件,并用美国内务部地理调查所 (USGS) 的植被图来描述模式的地面状态。在耦合以后我们选择了两个特殊的事件进行了检验:一个是 1988 年 6 月的美国中部大旱,另一个是 1993 年 7 月的美国中部大水。我们把 Eta/SSiB 对 1988

年 6 月和 1993 年 7 月的每一天做 24 h 的天气预报。然后对这两个月分别做月平均。同时又对 Eta/桶式模式 (这是 NCEP 过去的地面模式) 也做了相似的试验,这些模式模拟的降水结果和观测值以及再分析的结果都列在表 2 中 (30~50°N 和 80~110°W 的平均)。Eta/SSiB 能够比较精确地预测这两次的异常过程。

必须指出的一点是,在 SSiB 跟 Eta 耦合以后我们未作任何人为的调整(tuning)。这些初步的结果显示了陆面模式有可能显著地改进预测过程。

由于篇幅的关系我们没有对如何在不同的模式里进行耦合与如何在陆气过程中应用卫星资料作一简介。但必须引起重视的是一个好的边界层模式和正确的耦合方法是陆气相互作用研究的重大关键。

表 2 雨量比较 mm/d

结果来源	1988 年 6 月	1993 年 7 月
观测值	1.39	4.15
再分析	2.77	4.74
再分析 / Eta / SSiB	1.63	4.12
再分析 / Eta / 桶式模式		3.42

5 结论

本文回顾了 SSiB 的发展过程, 在这个过程中我们始终坚持用观测资料来标定和发展模式, 同时我们也始终将模式的发展和陆气相互作用的研究紧密地连接在一起。

在标定过程中, 我们不是盲目地把模拟结果“调整”到观测值, 而是研究机制和分析原因。由于这个模式经过了很扎实的检验, 所以在陆气作用的研究中发挥了很大的作用。

早期的地气相互作用的研究主要是敏感性试验, 了解地气作用在不同区域的特征, 找出对陆面过程最敏感的几个区域。在最近的研究中, 我们已把这些研究成果应用到预测试验中。

陆气作用是一门新的学科, 我们相信在未来的 10 年中随着卫星资料的应用将会有更大的发展。

参 考 文 献

- 1 Manabe, S., 1968, Climate and the ocean circulation. The atmospheric circulation and the earth's surface, *Mon. Wea. Rev.*, **97**, 739~774.
- 2 Chen, T. H. et al., 1997, Cabauw experimental results from the project for intercomparison of land surface parameterization schemes, *J. Climate*, **10**, 1194~1215.
- 3 叶笃正, 1992, 中国的全球变化预研究, 北京: 气象出版社, 101页.
- 4 Dickinson, R. E., A. Henderson-Sellers, P. J. Kennedy and M. F. Wilson, 1986, Biosphere-atmosphere transfer scheme (BATS) for the NCAR Community Climate Model, NCAR/TN-275+STR, 69pp.
- 5 Sellers, P. J., Y. Mintz, Y. C. Sud and A. Dalcher, 1986, A simple biosphere model (SiB) for use within general circulation models, *J. Atmos. Sci.*, **43**, 505~531.
- 6 Xue, Y., P. J. Sellers, J. L. Kinter III and Shukla, 1991, A simplified biosphere model for global climate studies, *J. Climate*, **4**, 345~364.
- 7 Koster, R. D. and M. J. Suarez, 1992, Modeling the land surface boundary in climate models as a composite of independent vegetation stands, *J. Geophys. Res.*, **97**(D3), 2697~2715.
- 8 Xue, Y., 1996, The impact of desertification in the Mongolian and the Inner Mongolian Grassland on the regional climate, *J. Climate*, **9**, 2173~2189.
- 9 Xue, Y., F. J. Zeng and C. A. Schlosser, 1996, SSiB and its sensitivity to soil properties — a case study using HAPEX-Mobilhy data, *Global & Planetary Change*, **13**, 183~194.
- 10 Schulz, J.-P., L. Dumenil, J. Polcher, C. A. Schlosser and Y. Xue, 1998, Land surface energy and moisture fluxes, comparing three models, *J. Appl. Meteor.*, **37**, 288~307.
- 11 Robock, A., K. V. Vinnikov, C. A. Schlosser, N. A. Speranskaya and Y. Xue, 1995, Use of Russian soil moisture and meteorological observations to validate soil moisture simulations with biosphere and bucket models, *J. Climate*, **8**, 15~35.
- 12 Xue, Y., P. J. Sellers, F. J. Zeng and C. A. Schlosser, 1997, Comments on “use of midlatitude soil moisture and meteorological observations to validate soil moisture simulation with biosphere and bucket models”, *J. Climate*, **10**, 374~376.
- 13 Schlosser, C. A., A. Robock, K. Y. Vinnikov, N. A. Speranskaya and Y. Xue, 1996, 18-year land-surface hydrology model simulation for a midlatitude grassland catchment in Valdai, Russia, *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 3279~3296.
- 14 Xue, Y., S. J. Allen and Q. Li, 1996, Sahel drought and land surface processes — a study using SEBEX and HAPEX-Sahel Data, Preprint of Second International Scientific Conference on the Global Energy and Water Cycle, 11~12.
- 15 孙薇芬、金继明, 1997, 陆面过程模式研究中的几个问题, 应用气象学报, **8** (增刊), 50~57.
- 16 Wood, E. F. et al., 1997, The project for intercomparison of land-surface parameterization schemes (PILPS) phase-2(c) Red-Arkansas River basin experiment, 1. Experiment description and summary intercomparisons,

- Global & Planetary Change*, in press.
- 17 Wetzzel, P. and J.-T. Chang, 1987, Concerning the relationship between evapotranspiration and soil moisture, *J. of Climate and Appl. Meteor.*, **26**, 18~27.
 - 18 Shukla, J. and Y. Mintz, 1982, Influence of land-surface evapotranspiration in the earth's climate, *Science*, **215**, 1498~1501.
 - 19 Yeh, T. C., R. T. Wetherald and S. Manabe, 1984, The effect of soil moisture on short-term climate and hydrology change — a numerical experiment, *Mon. Wea. Rev.*, **112**, 474~490.
 - 20 Charney, J. G., W. K. Quirk, S. H. Chow and J. Kornfield, 1977, A comparison study of the effects of albedo change on drought in semi-arid regions, *J. Atmos. Sci.*, **34**, 1366~1385.
 - 21 Sud, Y. C., J. Shukla and Y. Mintz, 1988, Influence of land surface roughness on atmospheric circulation and rainfall, A sensitivity study with a general circulation model, *J. Appl. Met.*, **27**, 1036~1054.
 - 22 Xue, Y. and J. Shukla, 1993, The influence of land surface properties on Sahel climate, Part I: desertification, *J. Climate*, **6**, 2232~2245.
 - 23 Xue, Y., 1997, Biosphere feedback on regional climate in tropical north Africa, *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **123**, B, 1483~1515.
 - 24 Xue, Y., H. G. Bastable, P. A. Dirmeyer and P. J. Sellers, 1996, Sensitivity of simulated surface fluxes to changes in land surface parameterization — a study using BATACOS data, *J. Appl. Meteor.*, **35**, 386~400.
 - 25 Xue, Y., M. J. Fennessy and P. J. Sellers, 1996, Impact of vegetation properties on U.S. summer weather prediction, *J. Geophys. Res.*, **101**, D3, 7419~7430.
 - 26 Oki, T. and Y. Xue, 1998, Investigation of river discharge variability in Sahel desertification experiment, Preprint of Ninth Symposium on Global Change Studies, 259~260.
 - 27 Xue, Y., F. J. Zeng, K. Mitchell and Z. Janjic, 1996, The impact of land surface processes on the prediction of the hydrological cycle over the U.S. — a study using a coupled ETA / SSiB model, Preprint of Second International Scientific Conference on the Global Energy and Water Cycle, 73~74.
 - 28 Xue, Y., F. J. Zeng, K. Mitchell and Z. Janjic, 1997, The impact of land surface processes on the prediction of the hydrological cycle over the U.S. Preprint of 13th Conference on Hydrology, 97~98.

A Simplified Simple Biosphere Model and Its Application to Land-Atmosphere Interactions

Xue Yongkang

(Department of Geography, University of Maryland, College Park, MD 20742, U.S.A.)

Farong J. Zeng and Adam C. Schlosser

(Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies, Calverton, U.S.A.)

Samon J. Allen

(Institute of Hydrology, Wallingford, U.K.)

Abstract The development of a biosphere model, Simplified Simple Biosphere Model (SSiB), and its application in climate studies are briefly described in this paper. SSiB has been validated and calibrated using many observational data. In this paper, the tests using Russian soil moisture data and HAPEX-Sahel data are presented to demonstrate the usefulness of these tests in the elucidation of the mechanisms in land surface processes and the improvement of the model. The influence of observational errors are also discussed. In land surface-atmosphere interaction studies, we mainly discuss the special interaction features in East Asia. In two East Asian studies, although the specified anomaly land forcings from the land surface were in different areas, they both had substantial impact on the summer monsoon. Finally, the application of a coupled regional atmosphere-biosphere model in prediction studies is discussed. Preliminary study indicates that this is a new area with great potential for development.

Key words Simplified Simple Biosphere Model model validation and calibration sensitivity
study of land-atmosphere interaction climate prediction