

REGCM2 和 SUCROS 模式的双向耦合模拟试验*

宋 帅

(中国科学院大气物理研究所东亚区域气候—环境重点实验室暨
全球变化东亚研究中心, 北京, 100029; 北京 2861-7 信箱, 北京, 100085)

符淙斌

(中国科学院大气物理研究所全球变化东亚研究中心, 北京, 100029)

周 林

王汉杰

(解放军理工大学气象学院, 南京, 211101) (北京 2861-7 信箱, 北京, 100085)

摘 要

文中利用 N AR 区域气候模式 REG M2 和荷兰 WAGENINGEN 农业大学的作物生长过程模式 SU ROS 在中国东部平原进行了作物-大气双向耦合的模拟试验。初步的研究结果表明, 该双向耦合模拟试验(R/S)能较好地描述大气和农作物间动态的基于生物过程的相互作用。R/S 模拟试验不仅能真实合理地反映植物叶面积指数的逐日变化特征, 更好地描述中国东部平原的陆面物理过程, 而且改善了 REG M2 对中国东部地区夏季降水和地面温度的数值模拟。该项研究对进一步认识和研究气候系统与陆地生态系统的相互作用具有一定的意义。

关键词: 双向耦合, 作物-大气相互作用, 区域气候模拟, 黄淮海平原。

1 引 言

大气环流模型、全球生态系统模型和卫星遥感观测证实了生态系统可在各种尺度上对气候产生作用, 是影响气候变化的重要因素^[1~3]。气候模式与生态模式的双向耦合或相互作用成为当今全球变化研究中的热点之一。

近年来, 区域气候的模拟研究有了较大的发展。目前区域气候的研究集中在个例模拟、敏感性试验(包括陆面植被的影响)和模式性能研究等方面^[4~6], 所做的研究大多为单向模拟, 即由 G MS(或观测资料)得到环境场, 作为初值和边界条件驱动区域气候模式, 但实际大气过程是双向的, 区域尺度过程对环境场存在着反馈。Lu 等^[7]利用区域气候模式 LIMRAMS 和生物地球化学模型 ENTURY 在美国大平原进行双向耦合实验研究, 在大气-生物圈相互作用的层次上对大气和生态系统之间的

反馈机制作了初步的探讨。文中利用 N AR 区域气候模式 REG M2^[8]与 WAGENINGEN 农业大学研制的作物生长过程模式 SU ROS(Simple and Universal Crop Growth Simulator)^[9]在中国东部平原进行作物-大气双向耦合模拟试验研究。试图在植物生长过程模式与区域气候模式的双向耦合中, 从大气-植物圈(或植被)的层次, 反映植被形态(叶面积指数)的逐日变化特征, 动态地描述植被和大气之间的相互作用过程, 从而改善 REG M2 对中国东部地区夏季降水和地面温度的模拟水平。

2 模式简介和试验设计

2.1 模式简介

2.1.1 区域气候模式

文中采用的 REG M2 模式的详细情况见文献[8], 模拟中选择了适合东亚地区的对流参数化方案和边界层方案, 即模式的物理过程主要采用 M2

* 初稿时间: 2003 年 6 月 12 日; 修改稿时间: 2003 年 8 月 3 日。
资助课题: 国家重点基础研究发展规划项目(G1999043400), 中国科学院创新项目(ZK X2-SW-210)和国家自然科学基金项目(49975016 和 40275021)。

辐射方案和修改的郭晓岚积云对流参数化方案, 陆面过程采用 BATS 1E^[10] 方案以及 Holtslag 的非局地高分辨边界层模式^[11]。该模式和大多数的 G M 的模拟结果相比, 能较好地模拟中国区域尺度的大气特征, 虽然存在模拟的降水量偏大、雨带分布的细节与观察之间的关系不太稳定^[12] 和模拟的地面温度南部偏冷、北部偏热^[13] 等缺陷。由于 REG M2 包含较详细的陆面过程方案且具有较高的分辨率, 因而易于与生态学模式耦合。

2.1.2 作物生长过程模式

作物生长过程模式采用了 SU ROS 模式, 它直接模拟土壤-植被-大气连续体中热量和水分的平衡、供应及消耗过程以及根据温度、辐射、降水等气象环境因子模拟植物的整个生长发展和衰亡过程。SU ROS 原始模式经王汉杰等^[14] 改进后, 能根据逐日气象因子和土壤含水量资料直接模拟中国农作物的生长状况, 逐日输出作物叶面积指数(LAI) 等地上和地下各器官生物量。利用改进的 SU ROS 模型, 本文模拟了中国东部平原冬小麦和夏玉米的生长过程以及气候变化对它们生长的影响, 模式输出的 LAI 的季节变化和各器官生物量均和田间监测数据较好地吻合^[14, 15]。

2.2 试验设计

区域气候模式(例如 REG M2) 主要根据给定的下垫面各个格点的植被类型和土壤状况等参数确定植被效应, 显然这种考虑是不完善的。因为植被的生长状况随着天气变化而不断变化, 对于气候的异常变化(如偏旱或偏涝), 事先给定的参数难以反映实际情况; 另一方面, 各类生态系统模型均假定外界大气强迫源是预先确定的, 不考虑植物的热力、动力反馈作用对天气和气候的影响。然而, 一系列的敏感性试验^[2, 16] 表明大气变化, 如降水和气温, 明显受到植物形态特征(如叶面积指数)的影响, 同时变化的大气时刻影响着植物形态特征和各器官生物量的生长。因此建立基于生物过程的动态耦合模式, 动态地刻画大气和植被相互作用的机理, 被认为是该研究领域的一个重要的发展方向。

2.2.1 耦合区域和耦合植被

试验区取在中国东部(25~45°N, 105~130°E), 格距为 60 km。与 REG M2 模式进行植被耦合试验的地区选为黄淮海平原(图 1 中方框区), 因为该地区不仅是中国夏季降水的主要地区之一, 而且其下垫面地势平坦、植被类型比较单一(大多数是农作物, 是中国最大的粮食生长基地) 易于进行作物-大气双向耦合的模拟研究。选择耦合的农作物类型是当地有代表性的冬小麦和夏玉米。根据当地的播

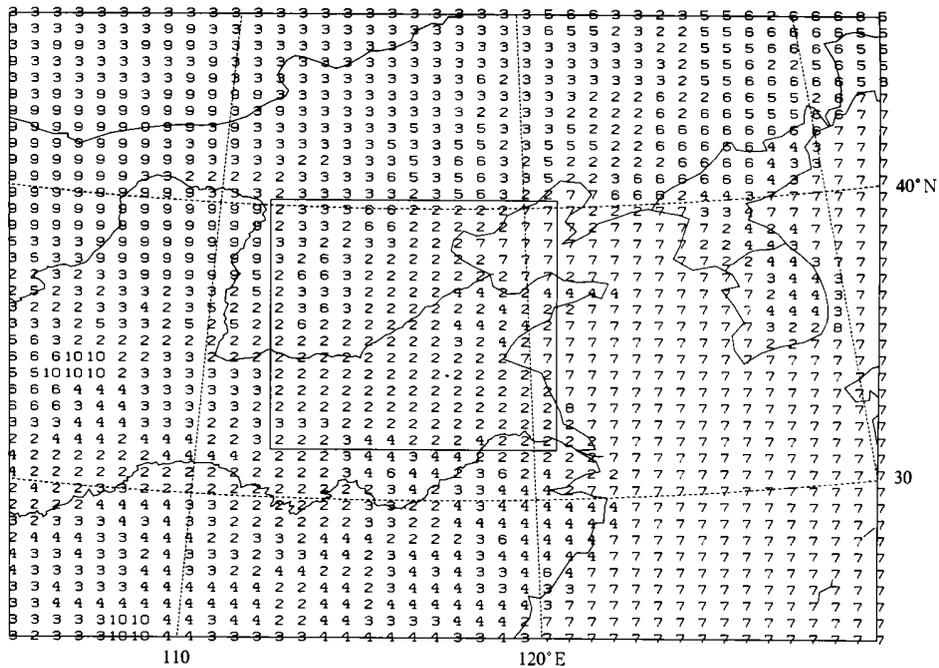


图 1 试验区及耦合区(图中方框区)

(地表覆盖类型 1. 城市, 2. 农田, 3. 草原, 4. 落叶林, 5. 针叶林, 6. 混合林地和湿地,

7. 水体, 8. 沼泽, 9. 沙漠, 10. 苔原, 11. 冻土, 12. 热带或副热带森林)

种习惯,黄淮海平原北部冬小麦播种期取为 10 月 13 日,收获期为次年 6 月 7 日;南部播种期为 10 月 23 日,收获期为次年 5 月 28 日。夏收之后,南部夏玉米播种期为 6 月 15 日,北部为 6 月 22 日。

2.2.2 耦合方法

REG M2 和 SU ROS 两模式差别比较大,分别有着不同的物理过程。REG M2 是一个三维模式,积分时间步长为 200 s,侧边界每 12 h 更换一次。而 SU ROS 模式是一个一维模式,经改进后积分时间步长为 1 d,从植物生长的生理角度看,植物的发育生长对大气强迫的变化需要一定的时间适应和反映,所以 REG M2 和 SU ROS 的耦合模拟试验 REG M2/SU ROS(以下简称 R/S 模拟试验)反馈时间步长必须以慢过程为准,即 REG M2 模式与 SU ROS 模式的信息交换频率为每天一次。交换内容为 REG M2 每日向 SU ROS 提供耦合区各网格点的地表入射辐射总量、降水量、最高和最低气温、平均水汽压和风速等气象要素以驱动该模式;而 SU ROS 每日输出各网格点的叶面积指数 L_{AI} 反馈给 REG M2,植物的其他形态特征(如植被高度、根系的分布和冠层结构等因子)对大气的反馈影响本文暂时没有考虑。BATS 方案中叶面积指数 L_{AI} 和植被覆盖度 V 由下列公式确定:

$$L_{AI} = L_{AI}^{Min} + F_{SEAS}(T_{g2}) \times (L_{AI}^{Max} - L_{AI}^{Min}) \quad (1)$$

$$V = V^{Min} + F_{SEAS}(T_{g2}) \times (V^{Max} - V^{Min}) \quad (2)$$

其中:当 $273.16 < T_{g2} < 298$ 时 $F_{SEAS}(T_{g2}) = 1 - 0.0016 \times (298.0 - T_{g2})^2$;当 $T_{g2} < 273.16$ 或 $T_{g2} > 298$ 时 $F_{SEAS}(T_{g2}) = 0$

T_{g2} 为采用强迫-恢复法得到的次表层(约 0.2 m)土壤温度。 L_{AI}^{Max} 和 L_{AI}^{Min} 是植物的最大和最小的叶面积指数, V^{Max} 和 V^{Min} 是植物的最大和最小温度(269 K)时的植被覆盖度。对于农作物而言,BATS 方案中设定 L_{AI}^{Max} 为 6.0, L_{AI}^{Min} 为 0.5, V^{Max} 和 L_{AI}^{Min} 分别为 0.85 和 0.60。式(1)和(2)反映了植被叶面积指数和覆盖度随土壤温度的季节变化而变化。

L_{AI} 对低层大气的水汽和热量的大小和分布有重要影响。但 REG M2 中 L_{AI} 的确定比较主观和笼统,这和文中将讨论的耦合区域(黄淮海平原)实际 L_{AI} 大小及其变化(见 3.3.2 节)有较大的差距。本文利用 SU ROS 模式模拟耦合区域各网格点实

际逐日的 L_{AI} 直接替代上述公式(1)中的 L_{AI} ,耦合区域内植被覆盖度 V 则根据耦合区域各网格点的实际 L_{AI} 以及 L_{AI}^{Max} 和 L_{AI}^{Min} 由式(1)反演出 $F_{SEAS}(T_{g2})$ 再由式(2)计算得到。

R/S 模拟试验中植被初始值由 1990 年 10 月~1991 年 4 月黄淮海平原的逐日天气实况资料事先驱动 SU ROS 模式得到。R/S 模式从 1991 年 5 月 1 日起积分运行至 1991 年 7 月 31 日共 92 d。这期间黄淮海平原实际农作物的 L_{AI} 变化较大,冬小麦逐渐成熟并收割,短暂的农田空闲后,夏玉米开始播种生长。由于黄淮海平原南、北部农业气候资源、土壤特征及耕作制度等不同,SU ROS 模式分南部(32~35°N,112~120°E)、北部(35~40°N,112~120°E)两地区分别模拟冬小麦和夏玉米的生长。

3 模拟结果及分析

3.1 单向耦合的 REGCM2 模式对降水和地面温度的模拟

利用区域气候模式模拟中国东部夏季降水的研究较多。符淙斌等^[12]利用基于 REG M2 改进的 R SM-TEA 模式模拟了 1991 年 5~7 月中国东部季风雨带演变。本文利用 REG M2 同样模拟 1991 年 5~7 月中国东部共 18 候逐候的降雨过程(图略)以验证模式,结果表明:5 月 18~27 日、6 月 2 日~22 日、7 月 1~13 日 3 次主要降雨时段的模拟与实况基本一致,大体可以模拟出中国东部季风雨带的演变过程。与文献[12]一样,由于采用 5 层缓冲区的侧边界方案,REG M2 对 7 月中旬雨带的第 2 次北跳模拟不理想,造成 7 月中下旬华北平原模拟的降水偏小。但总体上看 REG M2 模拟的降雨强度和范围比实况偏大。

地面温度的模拟好坏也是评价模式模拟水平高低的关键。从图 2 可以看到 REG M2 模式大体上模拟出地面温度的南高北低和冷槽暖脊的走势分布,中国东部平原有一暖脊,黄海地区有一冷槽。但与实况相比,中国东部平原尤其黄河以北地面温度模拟值偏低 2~3 °C,22 °C 等温线刚过黄河,而实况图上天津附近出现了 24 °C 的闭合高中心。

造成上述模拟中国东部平原降水偏大和地面温度偏低的原因是多方面的,对此已有一些研究和改进^[17],但 REG M2 模式中对植被叶面积指数的计算和处理上明显欠妥,可能是原因之一。

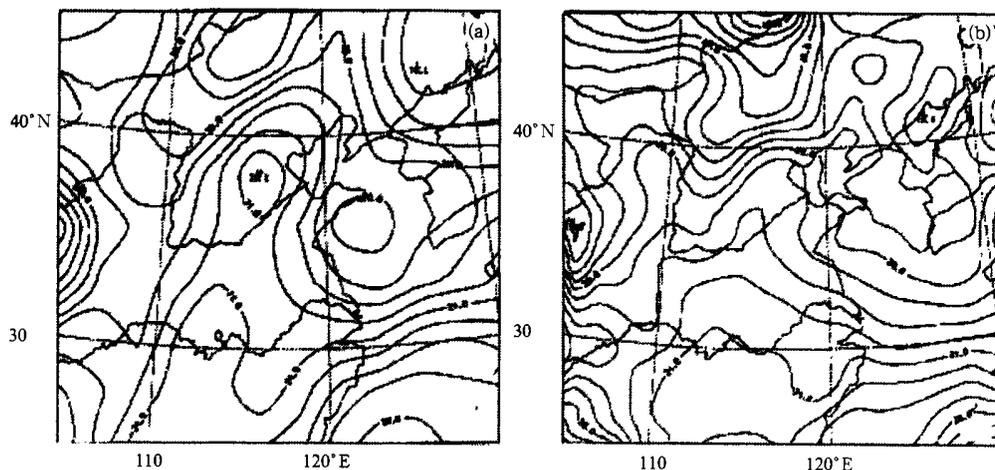


图2 1991年6月月平均地面温度

(a. N EP/N AR 资料得到的实况; b. REG M2 模拟结果; 单位: $^{\circ}\text{C}$)

3.2 双向耦合的 R/S 试验对降水和地面温度的模拟

R/S 模拟试验从 1991 年 5 月 1 日至 7 月 31 日连续积分 92 d, 模拟中国东部季风降水的逐候演变及黄淮海平原冬小麦和夏玉米叶面积指数的动态变化。由于篇幅所限, 不便将共 18 候的模拟图和实况图逐候列出, 这里只给出模拟期间 3 次强降水过程所在候的候平均降水分布(图 3d~f) 和对应的降水实况(图 3a~c)。模拟结果显示 5 月前 3 候, 模拟和实况基本一样, 长江流域及江南有一片弱的雨区, 没有明显的强降水。第 4 候开始, 模拟图上长江中上游出现了中心 100 mm 以上的东西走向雨带。第 5 候(图 3d), 这一雨带向北扩展维持在江淮地区, 降水强度有所加强, 出现两个 150 mm 的降水中心。和同期的实况(图 3a) 相比长江中下游 150 mm 的降水中心以及黄河中游郑州附近降水中心被模拟出来, 但位于山东省的闭合降水中心没有模拟出来。第 6 候, 长江流域的雨带减弱消失, 但淮北仍维持。模拟的雨带主轴和中心的位置与实况大致相当。6 月的 1 至 3 候, 江淮流域再次出现明显的雨带, 6 月第 3 候的实况(图 3b) 显示在淮阴附近有 ~ 200 mm 的强降水中心, 并且在西安至南京一带有一串呈西北-东南向的强降水的中心; 同期的模拟图(图 3e) 除淮阴附近的降水范围和强度模拟偏小外, 江淮地区西北-东南向的强降水的中心能较好地模拟出来。但从总体上看, 模拟的雨带范围大, 强度比实况偏强。6 月的 4 至 5 候, 降雨出现间歇, 雨带减弱, 模拟与实况基本相似。6 月 6 候至 7 月 3 候, 江淮雨带再次加强, 其中 7 月第 1 候实况图上(图 3c) 出现

了 300 和 200 mm 的两个强降水中心; 同期的模拟图(图 3f) 虽然有相对应并且强度相近的降水中心, 但模拟雨带的主轴和降水中心较实况偏南, 和 REG M2 一样, R/S 也不能较好地模拟出雨带的第二次北跳。7 月 4 至 6 候, 雨带减弱, 模拟与实况基本一致, 但华北平原模拟的降水偏少。

比较图 4 和 2 可见, 虽然 R/S 模拟的地面温度的冷槽暖脊走势分布和 REG M2 模拟结果十分相似, 并且与实况相比黄淮海平原北部的地面温度仍偏低, 但在耦合区域内暖脊明显加强, 地面温度有所升高, 黄河以北地面温度高于 22°C 的区域面积比 REG M2 模拟的相应面积约大 2 倍, 23°C 等温线北端已接近黄河。可见 R/S 模拟的耦合区域温度比 REG M2 的模拟温度有明显提高。

上述雨带演变和地面温度的模拟表明, R/S 试验大体上可以模拟出中国东部季风降水和雨带演变过程, 耦合模式长达 3 个月的积分性能是稳定的。

3.3 R/S 与 REGCM2 的模拟结果的比较

3.3.1 逐候降水量变化和地面温度的比较

从图 5 中可以看到, 7 月上旬(第 14 候) 前, 无论在黄淮海平原北部或南部, R/S 和 REG M2 的模拟降水值几乎均大于实际观测值(北部第 3 候和南部第 11, 12 候除外), 而 R/S 模拟值又几乎均小于 REG M2 模拟值, R/S 的模拟相对更接近实况。7 月中下旬, 在黄淮海平原北部, R/S 和 REG M2 的模拟值小于实测值, 而在南部 R/S 和 REG M2 的模拟值有两候大于实测值, 这是由于 7 月中旬, 实际季风雨带突然向北推进到华北平原, 而 R/S 和

REG M2 模拟的降水中心偏南与偏弱的缘故。总体上看,双向耦合模式不仅能模拟整个积分期间共

18 候的雨带降水的强弱变化,而且对降水量的模拟比单向耦合的模式更接近实况。

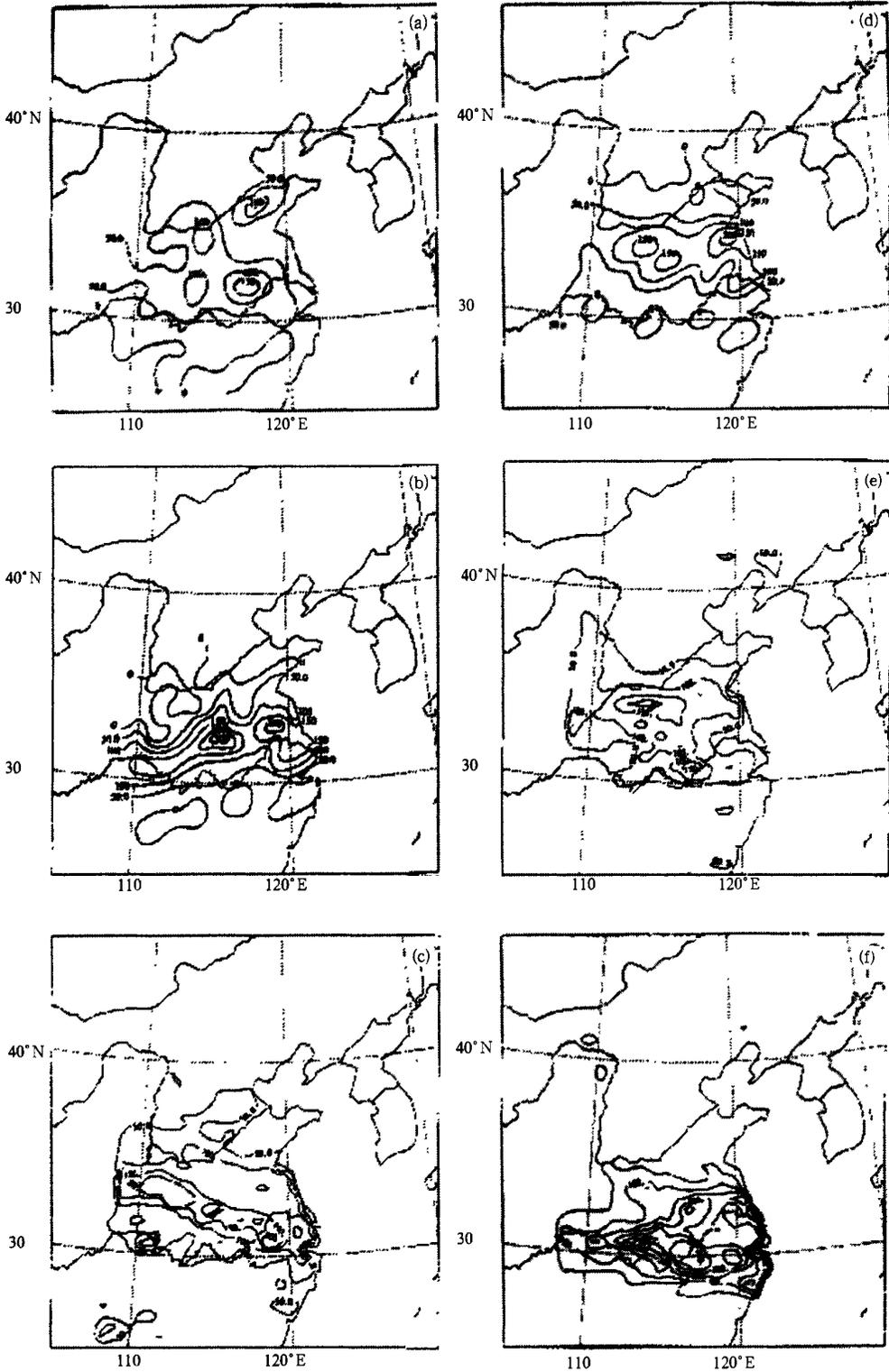


图 3 R/S 模拟的 1991 年 5~7 月中国东部 3 次强降水过程候平均雨量分布及对应的实况

(a. 5 月第 5 候实况值, b. 6 月第 3 候实况值, c. 7 月第 1 候实况值,

d. 5 月第 5 候模拟值, e. 6 月第 3 候模拟值, f. 7 月第 1 候模拟值; 单位: mm)

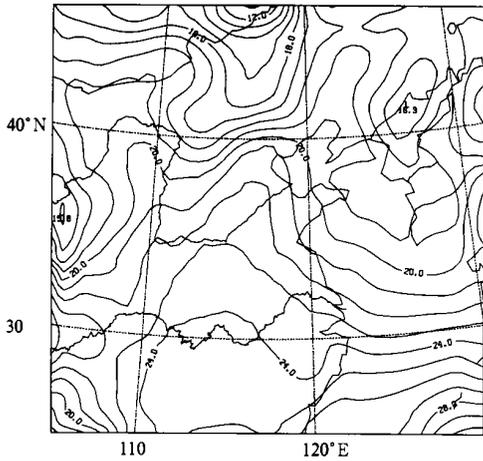


图4 R/S 模拟的 1991 年 6 月平均地面温度(单位: °C)

图 6a 为两模式 3 个月平均降水量的差值比较。从图中可见,在这 3 个月降水集中的江淮地区,除淮北地区以外, R/S 模式模拟的降水少于 REG M2 模式,尤其在河南中部和山东南部地区分别出现-115 和-78.8 mm 的闭合负中心。淮河以北虽然这 3 个月降水量不如江淮地区,但也有一半左右地区降水量差值为负值区,太原、石家庄附近出现负的闭合中心。耦合区域以外的长江中游安庆一带 R/S 模拟的降水却大于 REG M2 模式。图 6b 的地面温度差值表明,除了河套地区、东北以及长江以南部分地区外,在中国大部分区域 R/S 模拟的地面温度比 REG M2 模拟的地面温度高,并形成以耦合区域的中、南部为中心的闭合高中心,中心差值在 0.6 °C 以上。图 6a, b 清楚表明 R/S 模拟试验明显改善了

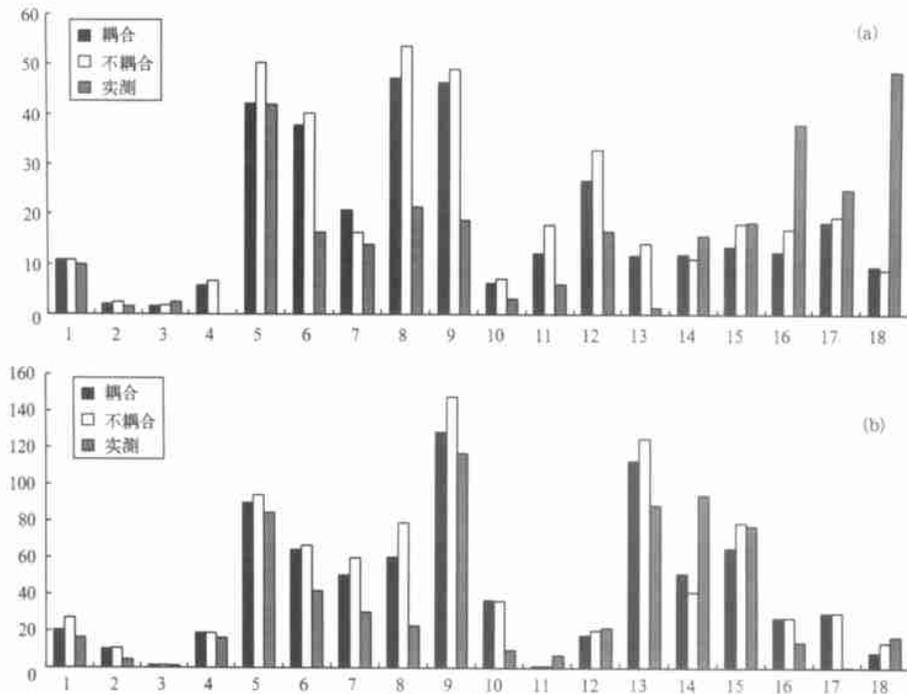


图5 黄淮海平原北部(a)和南部(b) 5~7 月逐候区域平均降水量变化(单位: mm)

REG M2 模拟中国东部雨季降水偏大和地面温度偏低缺陷。

3.3.2 黄淮海平原主要植被叶面积指数的逐候变化比较

图 7 显示了 1991 年 5~7 月不同模式模拟的黄淮海平原冬小麦和夏玉米的叶面积指数的变化。黄淮海平原南部和北部叶面积指数的模拟值分别以蚌埠和沧州周围各 4 个网格点平均模拟值为代表; L_{A10} 代表 REG M2 模式中给定的农作物叶面积指

数,它只有季节性的起伏变化,在 5~7 月的黄淮海平原 L_{A10} 维持在它的最大值 6.0 附近, L_{A11} 是 SU-ROS 模式根据当地实际观测资料的模拟结果,此处 L_{A11} 可以近似表征实际的叶面积指数变化; L_{A12} 和 L_{A13} 分别为 REG M2 和 R/S 模式逐日输出的天气资料驱动 SU-ROS 模拟的结果。通过比较,可以看到 REG M2 本身设定的叶面积指数 L_{A10} 不能反映中国黄淮海平原作物轮作引起的叶面积指数变化的特点,而且明显偏大。5 月 1 日以后,黄淮海平原

冬小麦已处于灌浆和成熟期, 光合作用的产物主要用于种子的储藏积累, 叶面积指数没有增长(绿色叶面积甚至减少)。此时, L_{AI2} , L_{AB} 和 L_{AI1} 相近。在小麦收割及准备播种玉米期间(南部对应日序数为第 29~45 天; 北部对应日序数为第 39~53 天), 田间地表植被叶面积指数最小, 我们设定它为 REG M2 中给定的最小值, 即 L_{AI1} , L_{AI2} 和 L_{AB} 均等于 0.5。玉米出苗后, 黄淮海平原南部由于 REG M2 和 R/S 模拟的降水量比实况偏大, 尽管模拟的地面温度比实况偏低, 仍使得 L_{AI2} 和 L_{AI3} 大于

L_{AI1} , 但双向耦合的 R/S 模拟的降水量和地面温度更接近观测值, 故其模拟的 L_{AB} 也接近 L_{AI1} ; 在黄淮海平原北部, REG M2 和 R/S 模拟的降水量和地面温度均比实况少, 因此 L_{AI2} 和 L_{AI3} 也明显小于 L_{AI1} , 似乎由于 REG M2 模拟的降水量稍大于 R/S 模式, L_{AI2} 也稍大于 L_{AB} , 和地面温度的影响相比, 降水量对农作物的影响更大。这表明降水量的大小或土壤水分亏缺程度是决定或制约目前黄淮海平原农作物生长的主要因素。这一结论和本文前期的相关研究是一致的^[18]。

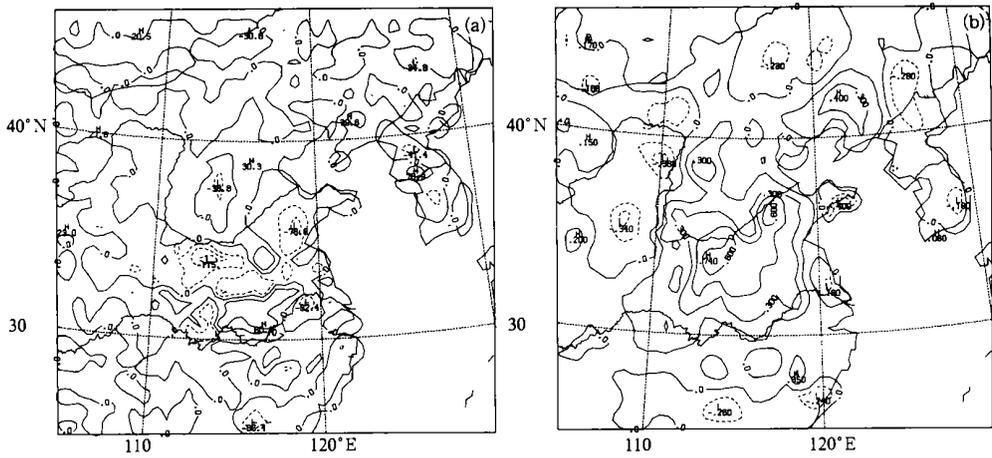


图 6 R/S 与 REG M2 模式对中国东部 1991 年 5、6 和 7 月 3 个月平均模拟值的差值(R/S-REG M2)分布
(a. 降水量(单位: mm); b. 地面温度(单位: °C); 实线为正, 虚线为负)

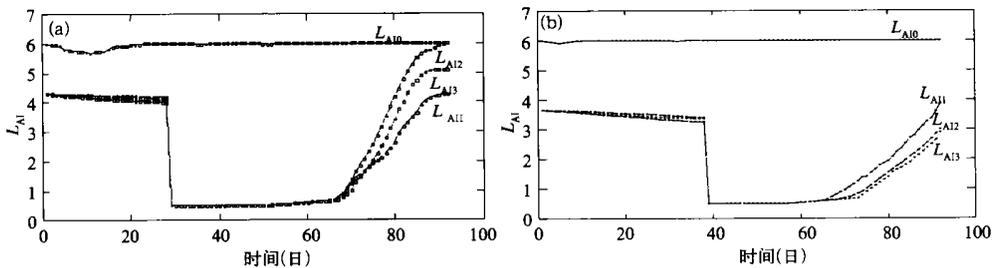


图 7 4 种模式中叶面积指数的逐日变化
(a. 黄淮海平原南部的蚌埠附近, b. 黄淮海平原北部的沧州附近;
 L_{AD} : 独立 REG M2 输出结果; L_{AI1} : 独立 SU ROS (由观测资料驱动)输出结果;
 L_{AI2} : 同 L_{AI1} 但由 REG M2 输出天气资料驱动; L_{AB} : 耦合 R/S 模拟输出结果)

3.3.3 感热通量和潜热通量的比较

由于 R/S 和 REG M2 模式中叶面积指数的大小和变化过程不同, 从而影响两模式低层大气潜热通量的和感热通量的大小和分布, 最终有可能影响两模式对地面温度和降水的模拟水平。图 8 显示在

黄淮海平原尤其在耦合区域内潜热通量差值大多为负值, 而感热通量差值几乎均为正值。这表明在耦合区域内 R/S 模拟的地表潜热通量比 REG M2 的小; 而感热通量大。两模式分别对 850 hPa 相对湿度和温度的模拟差值分布也显示: 与 REG M2 模式

相比, R/S 模式使得大气低层相对湿度减小和温度升高(图略)。比较图 8 和 6 可发现江淮地区负(正)的潜热通量差值区对应着负(正)的降水差值区;而感热通量差值分布和地面温度差值分布十分相似,并和潜热通量差值分布或降水量差值分布有很好负相关。这种分布说明 R/S 模拟中耦合区域内叶面积指数较小,地表植被的蒸发蒸腾作用减弱,使得

地面潜热通量减小,地面温度相应增高,感热通量增加,低层大气相对较干暖,降水因此减少。

图 8 和 6 显示耦合区内降水、温度及热通量的变化最大,但在邻近的非耦合区这些物理量均有变化,这说明局地的温、湿特性变化将会通过平流和垂直传输机制向周边地区扩散,中国河套、东北和长江中下游等地区将受此影响。

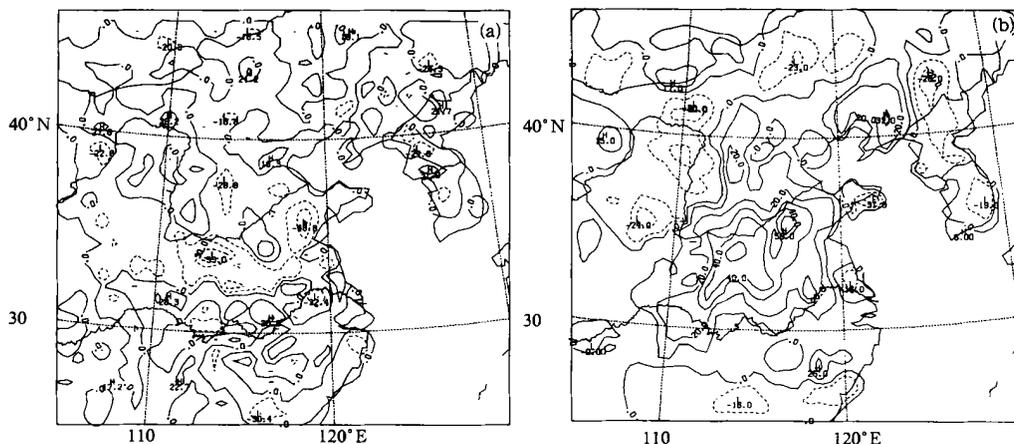


图 8 R/S 与 REG M2 模式对中国东部 1991 年 5、6 和 7 月 3 个月平均模拟值的差值(R/S-REG M2)分布
(a. 潜热通量(单位: W/m^2); b. 感热通量(单位: W/m^2); 实线为正, 虚线为负)

4 结 论

针对区域气候模式中普遍使用的地表植被单向影响大气流场的缺陷,本文以区域气候模式 REG M2 和作物生长过程过程模式 SU ROS 为基础,设计了一个农作物-大气双向耦合的区域气候模拟试验(R/S),并在中国黄淮海平原进行了模拟研究。模拟结果表明与 REG M2 模拟结果相比, R/S 模拟试验能动态地反映下垫面植被与大气的相互作用,更加真实地反映了下垫面作物的叶面积指数变化及作物-大气间的热量、水汽的交换过程,从而改善和提高了模式模拟中国东部季风降水和地面温度的水平。具体结论如下:

(1) REG M2 模式本身设定的作物叶面积指数 L_{A10} 在中国黄淮海平原明显不符合实际情况, R/S 模拟的黄淮海平原作物叶面积指数 L_{A13} 的动态变化对 L_{A10} 作了重要修正。

(2) 与 REG M2 模拟结果相比, R/S 模拟试验

的叶面积指数小于 L_{A10} , 从而使得 R/S 模拟的地面潜热通量减小,感热通量增加,降水减少,地面温度增高。从总体上看 R/S 模拟试验改进了 REG M2 模拟的中国东部降水量偏大和地面温度偏低的情况。

(3) 受侧边界处理方案的限制,本文 REG M2 和 R/S 均没有较好地模拟出 7 月中旬季风雨带从江淮到华北的北跳,从而使得 REG M2 和 R/S 模拟的黄淮海平原北部 7 月中下旬降水量偏小, R/S 模拟的作物叶面积指数 L_{A13} 在黄淮海平原北部略小于 L_{A12} , 而 L_{A12} 更接近于 L_{A11} 。这种现象若采用较大的缓冲区域^[12]是可以改进的。

本文只对一个天气个例和农作物进行了 3 个月的耦合试验,缺乏对更多的天气个例、更多植被类型和更长时间的耦合试验研究,与此有关的工作有待进一步加强和完善。

致谢: 本文得到南京大学苏炳凯、赵鸣教授的指导和关心,谨致衷心的感谢。

参考文献

- 1 Betts R A, Cox P M, Lee S E, et al. Contrasting physiological and structural vegetation feedback in climate change simulation. *Nature*, 1997, 387: 796~ 797
- 2 Chase T N, Pielke R A, Kittel T G F, et al. The sensitivity of a general circulation model to global changes in leaf area index. *J Geophys Res*, 1996, 101: 7393~ 7408
- 3 符淙斌, 董文杰, 温刚, 叶笃正. 全球变化的区域响应与适应. *气象学报*, 2003, 61(2): 245~ 249
- 4 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/LASG L9R15AG-M耦合及其模拟性能. *气象学报*, 2000, 58(2): 179~ 193
- 5 张晶, 丁一汇. 一个改进的陆面过程模式及其模拟试验研究第一部分: 陆面过程模式及其“独立”模拟试验和模式性能分析. *气象学报*, 1998, 56(1): 1~ 19
- 6 丁一汇, 张晶, 赵宗慈. 一个改进的陆面过程模式及其模拟试验研究第二部分: 陆面过程模式与区域气候模式的耦合模拟试验. *气象学报*, 1998, 56(4): 385~ 400
- 7 Lu Lik in, Roger A Pielke Sr, Glen E. Liston. Implementation of a two-way Interactive Atmospheric and Ecological Modeling System Over the Great Plains. *Proceedings of the International Workshop on Regional Modeling of the “General Monsoon System” in Asia*. October 20~ 23, 1997, Beijing, China. 87~ 91
- 8 Giorgi F, Mearns R M. Approaches to the simulation of regional climate change a review. *Rev Geophys*, 1991, 29: 191~ 216
- 9 Larr H H van, J Goudrian, et. al, 1992, Simulation of crop growth for potential and water-limited production situations, ABODLO simulation report 27, ABODLO, WAGENINGEN, The Netherlands
- 10 Dickinson R, A. Henderson-Sellers, Kennedy P J, Biosphere Atmosphere Transfer Scheme(BATS) version 1E as coupled to the NCAR Community Climate Model. NCAR, Tech Note. NCAR/TN-387+STR, 1993, 72pp
- 11 Holtlag A A M, Boville B A. Local versus nonlocal boundary-layer diffusion in a global climate model. *J Climate*, 1993, 6: 1825~ 1842
- 12 符淙斌, 魏和林, 陈明等. 区域气候模式对中国东部季风雨带演变的模拟. *大气科学*, 1998, 22, 522~ 533
- 13 刘永强, 丁一汇, 赵宗慈. 1991年江淮特大异常降水的区域气候模拟. 见: 赵宗慈主编. 中国短期气候预测的模式研究. 北京: 气象出版社, 1996. 106~ 120
- 14 王汉杰, 方越井. 林网保护区冬小麦生长过程的数值模拟. *应用生态学报*, 1997, 8(3): 250~ 256
- 15 宋帅, 周林, 王汉杰. 黄淮海平原林网保护区夏玉米生长过程的数值模拟. *应用生态学报*, 2000, 11(4): 527~ 531
- 16 Pielke R A, Zeng X, Lee T J et al. Mesoscale fluxes over heterogeneous flat landscapes for use in larger scale models. *J Hydrology*, 1997, 190: 317~ 336
- 17 汤剑平, 苏炳凯, 江静等. 一个引入近地层的区域气候模式. *大气科学*, 2001, 25(2): 221~ 230
- 18 Zhou Lin, Wang Hanjie. A simulation study on the impact of climate warming on production of winter wheat in Huang-Huai-Hai Plain of China, International Conference on Climate and Environment Variability and Predictability(CEVP). August. 7~ 11, 2000, Shanghai, China, 125pp

TWO-WAY SIMULATIONS FROM REGCM2 COUPLING WITH SUCROS IN THE HUANG-HUAÏ-HAI-PLAIN IN EAST CHINA

Song Shuai

(*Institute of Atmosphere Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029;
Climate and Environmental Research Center, P. O. Box 2861(7), Beijing 100085*)

Fu ongbin

(*Institute of Atmosphere Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)

Zhou Lin

(*Meteorological College, P. L. A. University of Science and Engineering, Nanjing 211101*)

Wang Hanjie

(*Climate and Environmental Research Center, P. O. Box 2861(7), Beijing 100085*)

Abstract

The ecological system, as one of the vital factors to climate change, exerts impact on the earth at a full range of scales. In view of the fact that a drawback lies in employing climate models to simulate the effect of vegetation upon atmospheric circulation as a general practice, we propose a coupling model(R/S).

A two-way coupling simulation from the NAR's regional climate model REG M2(called R-2 hereafter) and the SU ROS model for crop growth developed by the Wageningen Agricultural University, the Netherlands (both models, when in combination, denoted as R/S) are carried out on the interactions between crops and atmosphere in Huang-Huaï-Hai Plain. The experimental region(25—45° N, 105—130° E) is in East China, with grid spacing of 60 km. Both models exchange information once a day. On a daily basis, the R-2 provides the SU ROS grid points (in the box) with the total surface incident radiation, precipitation, maximal and minimal temperatures, mean vapor pressure and wind speed to drive its operation while the SU ROS furnishes the grid-point L_{AI} for the R-2.

Evidence suggests that the R/S simulations can depict pretty well the dynamic biology-based interactions between the factors, revealing reasonably both the day-to-day variations in leaf area index(L_{AI}) and land surface physics therein, and particularly the improvement of the simulation, independently by use of the R-2, of summer precipitation and surface temperature in the research region. As a result, the present research is of significance to the further understanding of the interaction between the climate system and the terrestrial ecological systems.

Key words: Two-way coupling, Air-vegetation interactions, Regional climate simulation, Huang-Huaï-Hai Plain.