

植被界面过程(VIP)生态水文动力学模式研究进展

莫兴国, 刘苏峡, 林忠辉

(中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101)

生态水文学是水文科学研究的热点。生态水文动力学模式是研究生态系统水文过程对环境变化响应的重要工具。中国科学院地理科学与资源研究所莫兴国研究小组自主开发的VIP(Vegetation Interface Processes)模式(图1), 是基于陆地生态系统能量收支、水文循环和碳氮循环的生态水文动力学模式。借助于遥感、地理信息系统, 已从单点尺度扩展到了流域和区域。VIP模式可以模拟自然和农业生态系统水分收支、生产力和碳循环, 以及流域水文过程。该模式自1998年在《气象学报》和2001年在《Agricultural and Forest Meteorology》发表以来, 不断更新, 模拟功能不断增强。

研究组成员开展了多年的植被界面过程的野外实验, 获取了较全面的土壤-植被-大气系统界面物质和能量交换的观测资料, 对模式进行了比较全面的参数识别、验证和不确定性分析。

在区域和流域生态水文过程研究中, 降雨和径流观测数据相对易于获取, 但区域蒸散发、土壤水

分、生产力难以直接测定。采用VIP模式, 融合模型、地面观测和遥感数据, 分析了中国典型区无定河流域、卢氏流域、华北平原的蒸散及其分量、土壤水分、生产力的时空演变特征及其与其它生态水文变量的相互关系, 这对农业节水和流域区域水土资源管理有科学价值。

在农业节水方面, VIP模拟结果显示, 对华北平原, 若表层土壤保持风干状态, 则地表蒸发仅占总蒸散的9%, 总蒸散比常规减小11%; 若叶片最小气孔阻力变化约500%, 总蒸散仅减小30%。然而如果表层土壤保持风干, 气孔阻力仅增加50%, 则总蒸散将减小23%, 耦合节水调控效果明显。这说明, 从控制表层土壤水分和土壤阻力两方面入手更易于达到节水目的。

在土地利用变化效应方面, 通过VIP模拟发现, 在无定河支流岔巴沟流域, 若全流域覆盖上某一种植被的情况下, 蒸腾和土壤蒸发的变化较明显, 地表径流和实际总蒸散的变化不显著。只有在全流

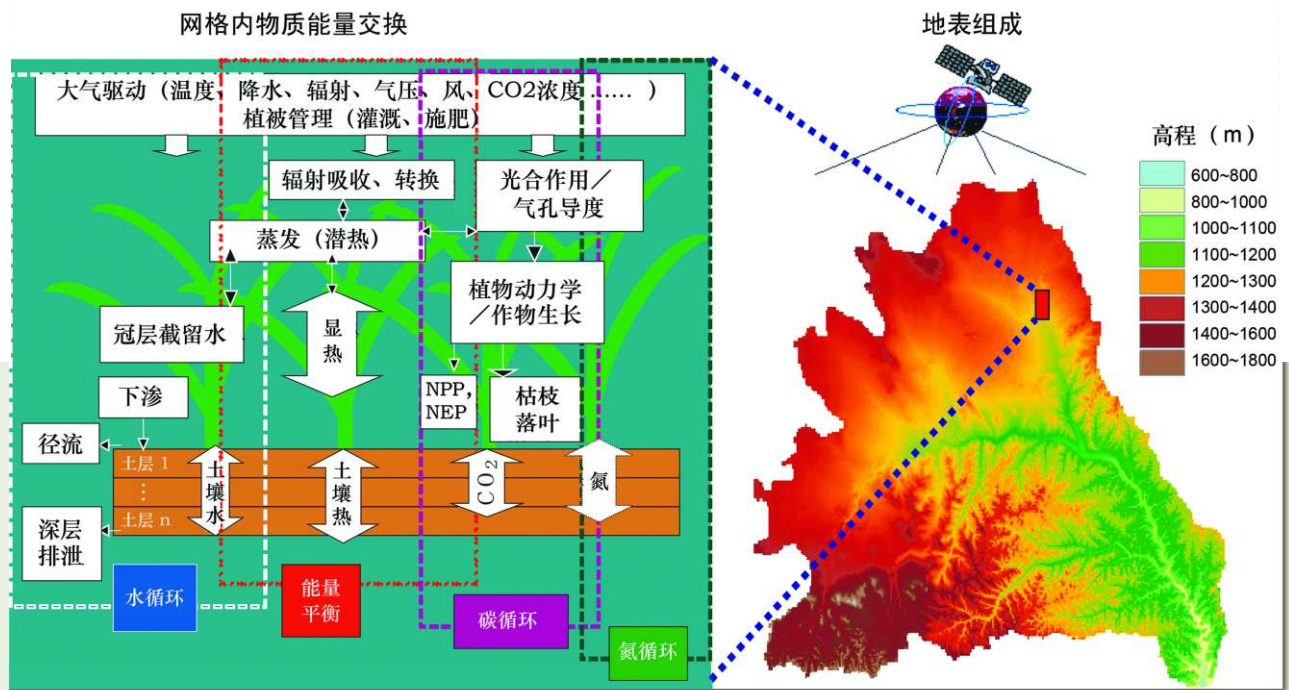


图1. VIP模式框架

域都变成荒漠情景下,实际总蒸散才显示出较明显的变化(17%)。可见,在西北干旱半干旱区,土地利用/覆被变化对水量平衡的影响较复杂,在制定生态系统恢复措施时要谨慎小心。

在气候变化响应方面,VIP模式成功地应用于世界银行、全球环境基金(GEF)和我国财政部联合资助的黄淮海平原农业对气候变化响应项目的科学评估。通过对历史的评估,发现,假设作物品种特性一致,从1951年~2006年,小麦的净第一性生产力和产量有显著的提高,而夏玉米的产量没有明显变化。这一时段由气候变暖和大气CO₂浓度升高对产量的贡献率为14%。因每年气候变化造成的冬小麦和夏玉米的产量变异性为13.7%和14%。冬小麦生长季内的蒸散量没有明显增强趋势,但是夏玉米的蒸散量随时间有明显下降趋势。从1950s~2000s夏玉米的蒸散量减少了30mm。小麦和玉米蒸散量的变异系数分别为6.9%和5.9%,相应的平均蒸散量为464mm和425mm。利用政府间气候变化委员会(IPCC)排放情景特别报告(SRES)温室气体排放方案的A2和B1方案情景,预测了华北平原小麦和玉米产量的变化。与20世纪90年代比较,两种情景下预测的冬小麦产量均有所提高,但是A2情景的增量高于B1情景。A2的最大增量出现在2070s,为19%,然而B1的最大增量出现在2060s为13%,明显低于A2情景。冬小麦为碳3作物,CO₂浓度增加将更有利于小麦的生长,作物产量的增加受降水和温度特征影响,不同年代增量变化存在差异。冬小麦生长季累积蒸散量会略微受气候变化影响。A2和B1两种情景下累积蒸散量均有小幅增加,增量不及6%。大气增温将加强蒸散过程,但是受较高的CO₂浓度影响,气孔导度降低,加之生育期的缩短,二者的共同作用有利于总蒸散的降低。如果保持现有种植品种基因参数不变,到2090s冬小麦和夏玉米的生育期将分别下降20~30天。在两种情景下,夏玉米产量随大气增温而逐渐下降。在2090s,A2和B1情景下产量将分别减少15%和

12%。CO₂浓度增加对作为C4的玉米作物影响较轻,在当前气候条件下,CO₂加倍时产量变化10%。对玉米而言,增温效应显著大于CO₂肥效,最终造成两种情景下玉米产量减少。生育期缩短和维持呼吸增高两大因素导致玉米产量的减少。但是,从2050s以来,蒸散明显增加,相对增加量为10%。到21世纪末,A2和B1两种情景下蒸散相对变化量可达到37%和20%。

VIP模式小组还对黄土高原无定河流域生态水文过程对气候变化的响应进行了模拟。发现无定河流域近40a来温度上升,而降水量没有明显的下降趋势,但年际波动幅度变小。与之相应,地表蒸散量没有明显的变化趋势。然而,因大气CO₂浓度的上升,植被净生产力明显增加,速率约为0.6g/(Cm²·a),水分利用效率随之提高。该流域生态系统对HadCM3气候变化情景的响应显著,蒸散、地表径流和植被净第一性生产力均增加,植被水分利用效率明显提高。说明该地区植被覆盖水平在未来的气候变化情景下会有提高的趋势,这对黄土高原地区流域的植被建设将有利。

在尺度扩展方面,利用VIP模式研究表明,模拟网格大小的选取对蒸散和总第一生产力的空间格局影响很大,相对而言,对年总第一生产力的影响要大于年蒸散。一般而言,网格尺度越大计算量越小,但区域信息将被更多遮盖,模拟的精度受影响,反之亦然。1km相对于250m和8km尺度而言,为比较可取的尺度。然而,流域平均的日蒸散和日第一生产力的尺度效应不明显,因此在模拟空间平均值时可将区域划分为较粗网格。

VIP模式的开发和研制,先后受到国家自然科学基金委员会、国家科技部、中国科学院、中国气象局、英国皇家学会等的资助。承蒙中国人民解放军通讯指挥学院作战仿真研究小组的加盟,VIP模式研究小组正在制作VIP模式可视化界面和网页。期待VIP模式在更多区域得到验证,为区域生态及环境研究和建设服务。

参考文献 (References):

- [1] 王永芬,莫兴国,王艳芬,等. 基于VIP模型对内蒙古草原蒸散季节和年际变化的模拟[J].植物生态学报,2008,32(5):1052~1060.
- [2] 莫兴国,林忠辉,刘苏峡. 气候变化对无定河流域生态水文过程影响的模拟研究[J].生态学报,2007,27(12):4999~5007.
- [3] 陈丹,莫兴国,林忠辉,等. 基于MODIS数据的无定河流域蒸散模拟[J].地理研究,2006,25(4):617~623.
- [4] Mo X., Liu S., Lin Z., et al. Prediction of crop yield, water consumption and water use efficiency with a SVAT-crop growth model using remotely sensed data on the North China Plain[J]. Ecological Modelling. 2005, 183:310~322.
- [5] Mo, Xingguo, Keith Beven. Multi-objective conditioning of a three-source canopy model for estimation of parameter sensitivity and prediction uncertainty[J]. Agricultural and Forest Meteorology. 2004,122:39~63.
- [6] Mo, Xingguo, Liu Suxia. Simulating evapotranspiration and photosynthesis of winter wheat over the growing season[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2001,109,203~222.
- [7] 莫兴国.土壤-植被-大气水热传输模型与田间验证[J].气象学报.1998,56(3):323~332.