

青藏高原大气-植被相互作用的模拟试验*

II. 植被叶面积指数和净初级生产力

吕建华 季劲钧

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

P4 A

摘要 利用大气-植被相互作用模式 AVIM 对青藏高原上 30 个站点进行模拟计算, 给出了青藏高原上植被叶面积指数和净初级生产力的分布特征。模拟结果表明, 高原上叶面积指数、净初级生产力由东南向西北减少, 模拟和观测的分布相一致。分析指出, 青藏高原净初级生产力的分布决定于水热条件的共同作用, 降水充沛、温度适宜的青藏高原东南部净初级生产力较高, 而青藏高原西北部由于降水过少或温度过低, 初级生产力很低。

关键词: 大气-植被相互作用; 青藏高原; 净初级生产力; 叶面积指数

1 引言

植被对大气的作用表现为冠层对陆面和大气之间辐射、能量和水分传输的影响, 单位地面面积上的叶面积 (即叶面积指数, LAI) 大小对反照率、冠层气孔阻抗和粗糙度等有直接的影响, 这在各种陆面物理过程模式中都有描述。但 LAI 及其变化是植被生理过程, 包括光合、呼吸、分配和物候等在冠层形态上的反映, 因此在多数陆面过程模式中, 即使在包括部分生理过程 (光合和呼吸) 的模式中, LAI 只能是给定的参数^[1,2], 但要实现完整意义上的气候-植被相互作用, LAI 就应成为大气-植被系统的内部变量^[3-5]。

植被净初级生产力 (NPP) (植被光合同化的 CO_2 减去呼吸消耗后的余额, 本文均以干物质计算, 1 g CO_2 相当于 0.62 g 干物质) 是植物生态学关注的重点之一。从 20 世纪 70 年代的简单统计模型^[6]开始, 现在已经发展出了很多生态系统模式模拟全球植被净初级生产力的分布^[7,8]。

基于不同的方法, 对我国植被净初级生产力的分布, 国内也已经有了一些模拟结果^[9-12]。例如, 周广胜和张新时^[9]估计青藏高原的 NPP 在 $310 \sim 710 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 之间, 罗天祥^[10]估计青藏高原的 NPP 平均为 $415 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$, 并利用统计模型给出了 NPP 的分布。但从植被和大气的相互作用出发, 模拟植被的叶面积指数和净初级生产力的分布, 本文还是首次的尝试。

本文第一部分^[4]在描述青藏高原陆面物理交换过程的特征时, 提到了植被在其中的作用, 那么植被净初级生产力和叶面积指数的分布和动态变化又是如何的呢? 这种分布

2000-05-12 收到, 2001-01-10 收到再改稿

* 国家重点基础研究发展规划项目 G1999043400 和国家自然科学基金资助项目 40005005 共同资助

和变化与气候条件有什么样的关系? 这里将对大气-植被相互作用模式 AVIM 的模拟结果作一分析。结果将和他人的工作进行比较。文中给出的模拟结果均为 1991~1993 年 3 年平均的逐月值, 篇幅所限, 主要给出生长季 6~9 月的结果。

对模式的介绍及模拟方法和资料的详细说明可见文献[4], 这里仅对和生理过程有关的计算方案作一简单介绍。

光合作用和呼吸作用每 30 min 计算一次, 由每日光合总量减去呼吸总量得到日净光合总量, 和物候有关的光合产物分配、凋落过程每天计算一次, 这样可得到逐日的植被叶部、细根部和其他部分的生物量, 并由下式得到逐日的叶面积指数:

$$L_{ai} = M_f \cdot S_{la} \quad (17)$$

式中, L_{ai} 为叶面积指数, S_{la} 为比叶面积 (specific leaf area), 即单位质量叶子对应的叶面积。 S_{la} 的取值可见文献[13]。模式积分时间从 1991 年 1 月 1 日开始到 1993 年 12 月 31 日结束。

用来和模拟结果作比较的月卫星遥感归一化植被指数 (NDVI) 资料是由 1991~1993 年间分辨率为 $5' \times 5'$ 的逐旬 NDVI 值得到的。

2 青藏高原植被叶面积指数和 NPP 的模拟

图 1 是由从卫星遥感资料得到的 1991~1993 年 3 年平均的 6~9 月各月 NDVI 在青藏高原的分布图。可以看到 NDVI 的分布有从东南向西北递减的趋势。东部达日、甘孜、德格、昌都、玉树和林芝站 6 月 NDVI 已经超过 0.4, 中部拉萨, 那曲, 曲麻莱等地在 0.3 左右, 而西北部的狮泉河、改则、冷湖等处 0.0 左右, 也即几乎无植被存在。在生长季中, 东部的 NDVI 迅速增大。8 月份, 在沿林芝-那曲-曲麻莱-玛多-同德-刚察以东的区域内, NDVI 大都超过了 0.5, 表明了植被在这一时期内的较强增长趋势, 而日喀则、申扎、班戈乃至北部的托托河、格尔木、都兰一线, NDVI 也增长到 0.3 左右, 而狮泉河及冷湖的 NDVI 丝毫不见增长, 显著地表现出了荒漠特征。到 9 月后, 各处的 NDVI 开始减小, 表明了生长季的结束和植被凋落的开始。

尽管 NDVI 并不能给我们提供完全定量的植被叶面积指数和 NPP 的信息, 但无疑能告诉我们植被分布及生长的动态在空间上的分布特征, 下面再来看模式的模拟结果。

图 2 是模拟的 6~9 月各月叶面积指数 LAI 的变化。6 月份, 高原东南部的 LAI 已经接近或超过 2, 这是因为东部温度较高, 生长季开始早的缘故, 其中林芝植被类型为森林, LAI 最大, 达到 4.4; 8 月份各站 LAI 达到最大, 东南部的植被大都在 4 左右, 西部狮泉河、改则等站的叶面积指数最大也就在 1 左右, 而且在整个生长季中变化幅度很小, 这和 NDVI 所表现的特征是一致的: 9 月份以后各站叶面积指数开始减小, 表明生长季趋于结束; 由于林芝站植被类型是森林, 模拟的叶面积指数明显大于其他地方, 但实测的 NDVI 并不是最大。尽管存在差异, 总的来说, 叶面积指数的分布趋势和 NDVI 相化, 从东南向西北递减, 其季节动态也和观测的变化接近。

图 3 是模拟的 6~9 月各月的植被净初级生产力 (NPP) 分布, 可以看到, 在 6 月份, 东南部的 NPP 大多超过 $100 \text{ g m}^{-2} \text{ 月}^{-1}$, 而西北部各站的 NPP 一般都小于 40

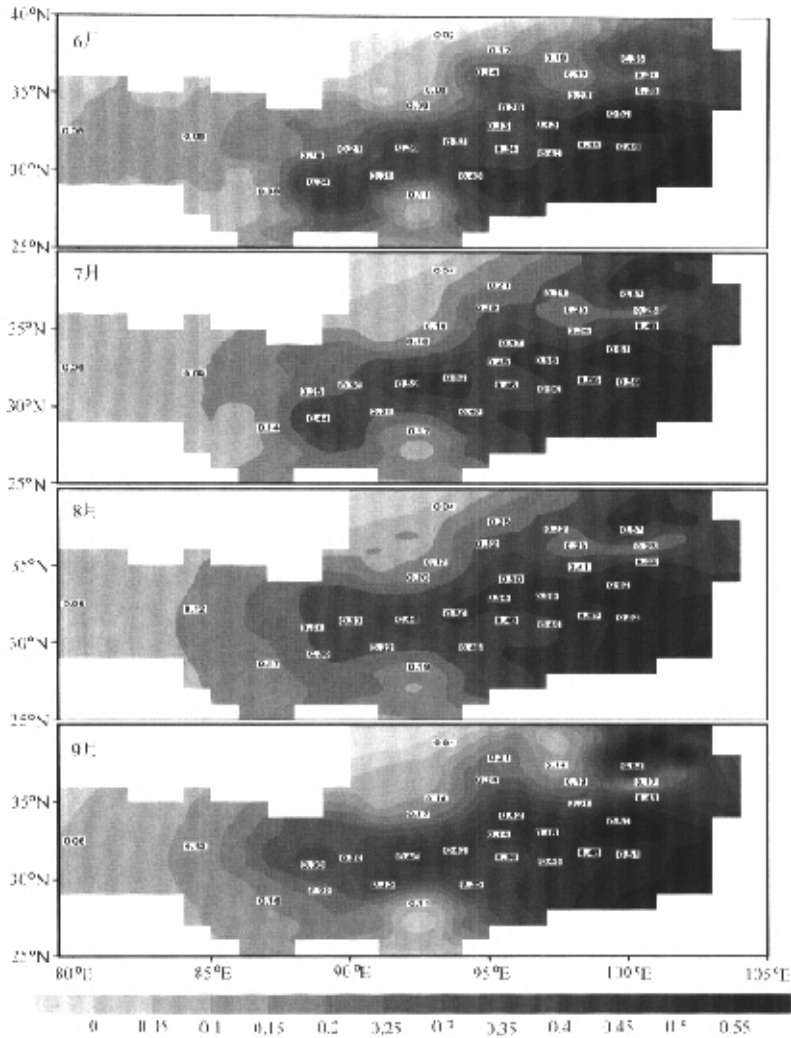


图1 卫星遥感的6~9月各月NDVI分布

$\text{g m}^{-2} \text{月}^{-1}$ 。狮泉河、改则和冷湖等站的 NPP 都小于 $10 \text{ g m}^{-2} \text{月}^{-1}$ ；7 月和 8 月份东南部的 NPP 明显增大，如林芝站的 NPP 在 7 月和 8 月都超过 $350 \text{ g m}^{-2} \text{月}^{-1}$ ，同时可以看到，高原西北部的 NPP 在 7、8 月份仍然很低，多数不超过 $30 \text{ g m}^{-2} \text{月}^{-1}$ ；9 月份各站的 NPP 明显减小，如东部的达日和甘孜站由 8 月份的 $300 \text{ g m}^{-2} \text{月}^{-1}$ 以上降为 $40 \text{ g m}^{-2} \text{月}^{-1}$ 以下。

图 4 给出了全年青藏高原上 NPP 的分布情况。林芝最高，接近 1300 g m^{-2} （即 13 t hm^{-2} ）；高原的东南部，净初级生产力较高，多数超过 900 g m^{-2} ；中部次之，大致

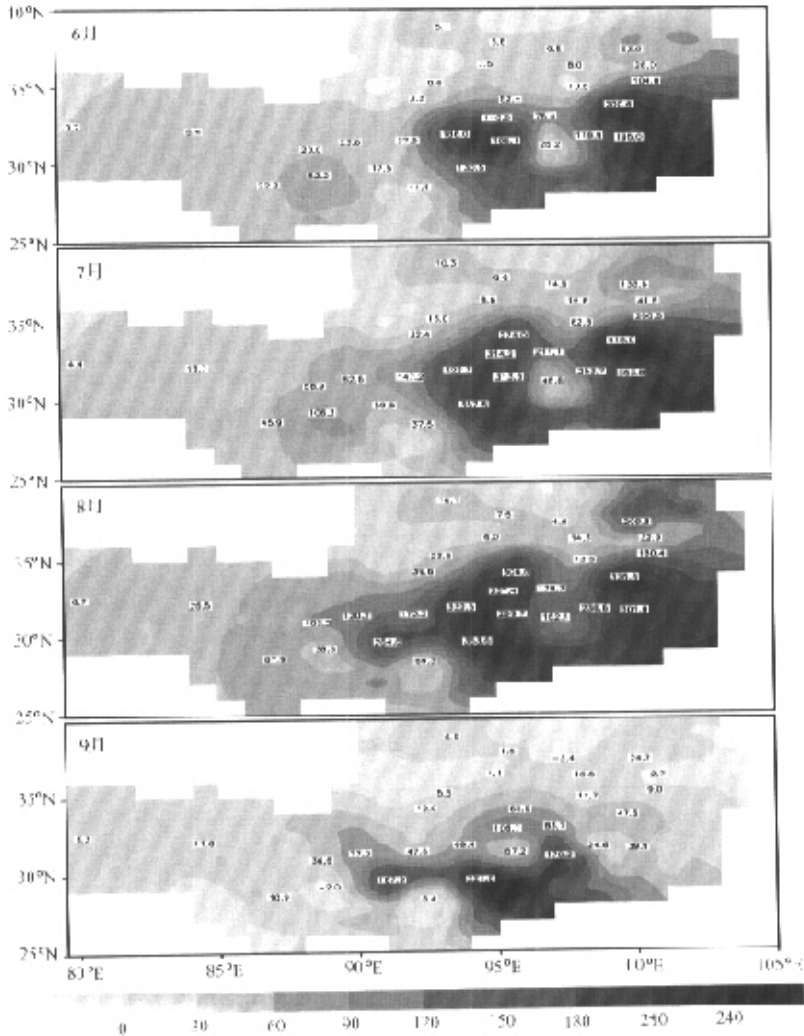


图2 模拟的6~9月各月叶面积指数分布

在 $100 \sim 400 \text{ g m}^{-2}$ 之间；西北部的 NPP 最小，改则-托托河-德令哈一线再往西北，年 NPP 均小于 100 g m^{-2} ，其中大部分在 50 g m^{-2} 以下，狮泉河仅 10 g m^{-2} 左右，荒漠特征明显。和罗天祥基于年降水量和年平均气温分布的相关模型得到的净初级生产力分布图^[10]比较发现，用 AVIM 模拟的分布与之非常接近。这说明采用基于大气-植被间相互作用，包含了详细的陆面物理过程和植被生理过程描述的模式在模拟植被初级生产力方面的能力。和相关模型相比，相互作用模式能对其中的过程和机制进行分析，这是其长处之所在。

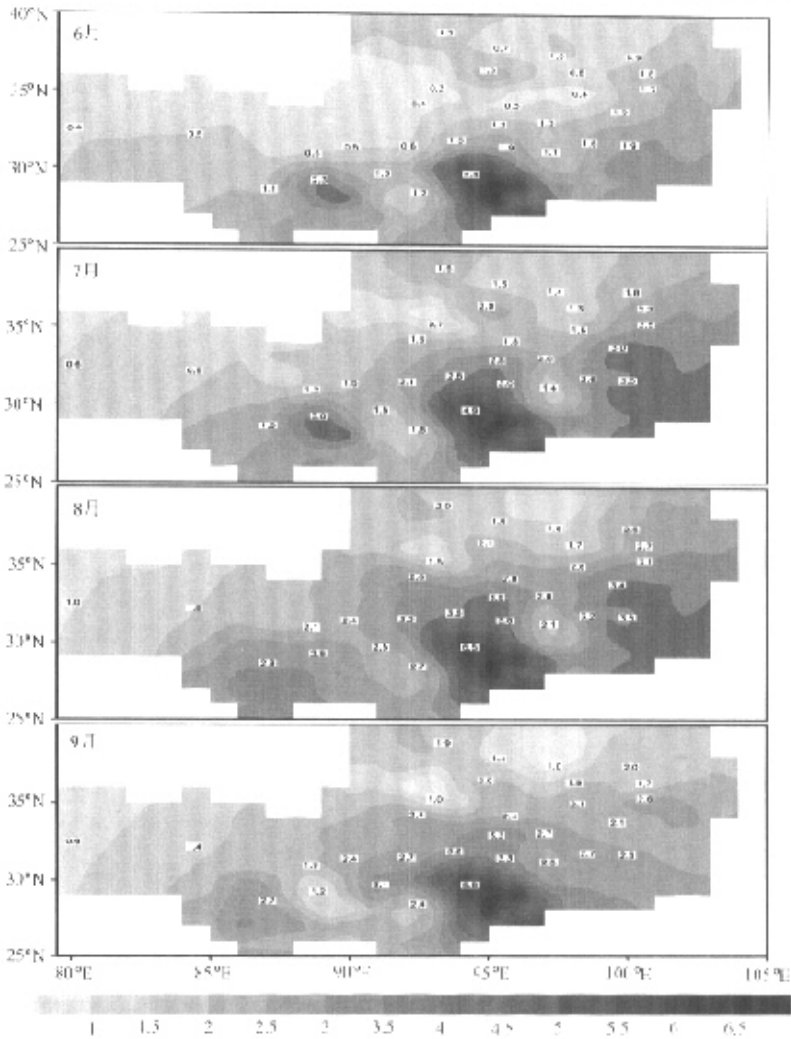


图3 模拟的6~9月各月植被净初级生产力分布 ($\text{g m}^{-2} \text{月}^{-1}$)

在我们的模拟过程中, 各模拟站点上的植被生理学有关的参数(如光合参数)本身差别并不大, 而模拟结果显示出很大的差异, 这说明气候条件即水热分布对植被生长有很大影响。图5给出了植被初级生产力和水热条件的关系, 图中横轴表示模式计算的30个站, 其顺序和文献[4]中表1相同。由图可见, 生长季温度虽高而NPP却较低的站点(如定日、隆子、狮泉河、改则、格尔木、都兰、大柴旦、德令哈、共和)正是比较干旱少雨的地方, 虽然生长季热量条件较好, 但水分条件却极差而限制了植被的生长, 这是高原西北部的气候特征; 而在高原的东南部, 一方面湿润多雨, 同时气温也较高,

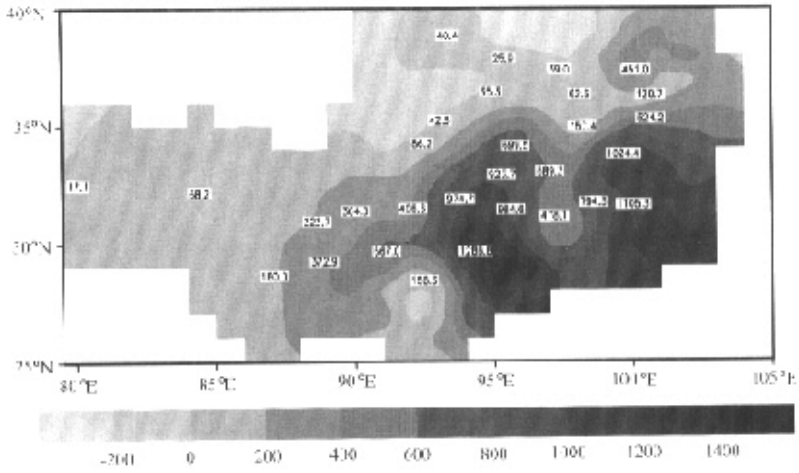


图4 模拟的植被全年净初级生产力分布 (单位: $g\ m^{-2}$)

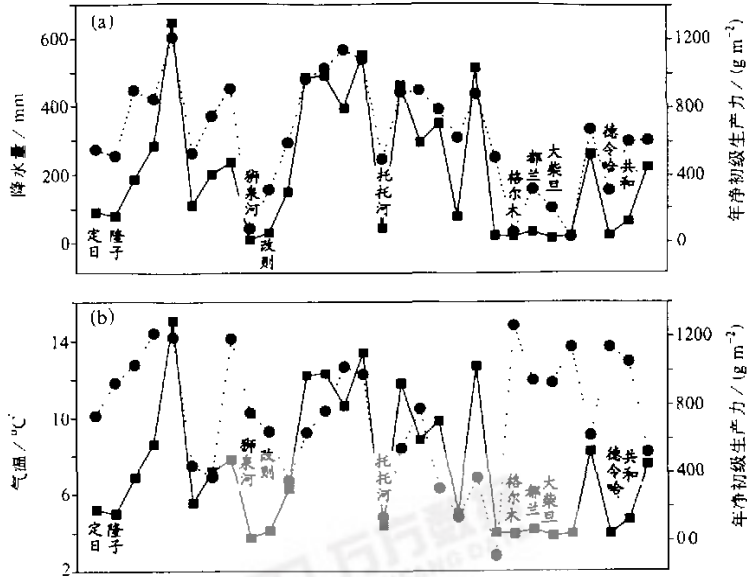


图5 各模式站点5~9月 (a) 总降水量 (虚线, 单位: mm) 和 (b) 平均气温 (虚线, 单位: $^{\circ}C$) 与植被年净初级生产力 (实线, 单位: $g\ m^{-2}$)

方点为站点模拟得到的年 NPP, 圆点为各站点 5~9 月间的总降水量 (a) 和平均气温 (b)

热量条件较为充分, 水热条件的配合使植被 NPP 远较高原其他地方为高。而像托托河 (格尔木地区), 5~9 月总降水量较小, 约 250 mm 左右, 同时平均气温只有 4 $^{\circ}C$ 。水热均不充分使 NPP 很低。以上关系可以从卫星遥感得到的 NDVI 资料和降水量、气温之间的关系 (图 6a、b) 得到证实。综上说明, 青藏高原上水热条件的配合对植被生产力的分布起重要作用。

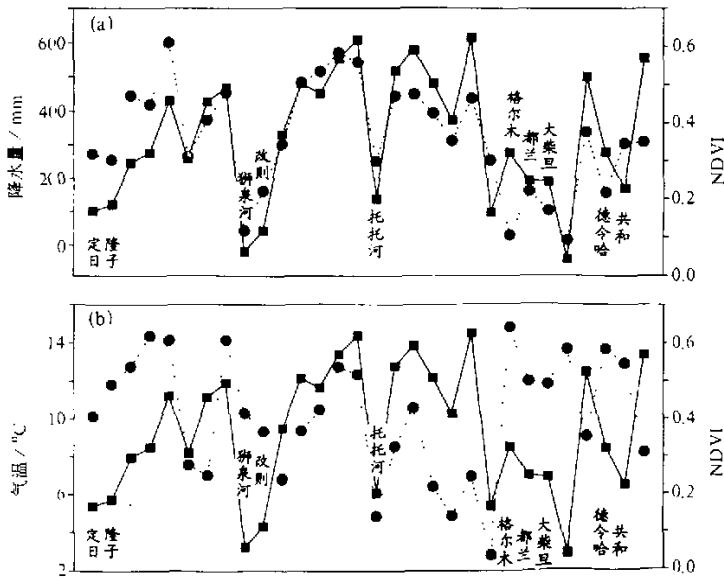


图6 各模式站点5~9月(a)总降水量(虚线, 单位: mm)和(b)平均气温(虚线, 单位: °C)与实测NDVI(实线)

3 小结和讨论

本文以青藏高原上30个气象站的逐日资料为输入, 利用AVIM模式模拟了青藏高原植被叶面积指数及净初级生产力的分布特征, 指出:

(1) 模拟结果显示, 植被净初级生产力的分布都是由高原东南向西北递减的, 青藏高原的东南部植被净初级生产力较高, 部分地区的年总量可超过 1000 g m^{-2} , 而高原西北部的净初级生产力多在 50 g m^{-2} 左右, 表现出很大的空间差异性和明显的梯度分布;

(2) 植被叶面积指数和净初级生产力的分布是一致的, 结果表明叶面积指数和初级生产力在夏季7、8月份达到最大。

(3) 通过和遥感资料及他人工作的比较, 模拟得到的植被变化是可信的, 证实了AVIM模式的模拟能力。

(4) 分析指出植被净初级生产力和叶面积指数的这种分布及其动态变化依赖于水、热条件的配合。

应指出的是, 我们的结果是初步的, 虽然作了1991~1993年3年的模拟, 但本文仅给出3年平均的结果, 这是因为在生物学方面很少有连续的动力观测以资比较, 而即使是作为平均状态的观测, 也仍然显得太少。同时模式的过程描述也有值得进一步改进的地方, 例如对 CO_2 物质的分配过程, 物候过程经验或人为的成分很大, 需要作更深入的研究。

致谢: 本文得到叶笃正先生的指导, 温刚博士提供了NDVI资料, 审稿人对初稿提出了很好的修改意见, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 Sellers, P. J., D. A. Randall, G. J. Collatz et al., A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs. Part I: Model formulation, *J. Climate*, 1996, **9**, 676~705.
- 2 Bonan, G. B., A Land Surface Model for the Ecological, Hydrological and Atmospheric Studies, NCAR Technical Note TN / 417, Boulder, Co., U.S.A, 1996.
- 3 Ji Junjun, A climate-vegetation interaction model: simulating physical and biological processes at the surface, *Journal of Biogeography*, 1995, **22**, 445~451.
- 4 吕建华, 季劲钧, 青藏高原大气-植被相互作用的模拟试验 I. 物理通量和参数, *大气科学*, **26**(1), 111~126.
- 5 Dickinson, R. E., M. Shaikh, R. Bryant et al., Interactive canopies for a climate model, *J. Climate*, 1998, **11**, 2823~2836.
- 6 Leith, H., Modelling the primary production of the world, *Primary Productivity of the Biosphere*, Leith, H. and R. H. Whitacker, Eds., Berlin: Springer-Verlag, 1975, 237~263.
- 7 Cramer, W., D. W. Kicklighter, A. Bondeau et al., Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): overview and key results, PIK Report No.30, Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), Potsdam, Germany, 1997.
- 8 VEMAP Members, J. M. Melillo, J. Borchers et al., Vegetation ecosystem modelling and analysis project. Comparing biogeography and biogeochemistry models in a continental-scale study of terrestrial ecosystem response to climate change and CO₂ doubling, *Global Biogeochemical Cycles*, 1995, **9**, 407~437.
- 9 周广胜, 张新时, 一个新的NPP模型及其在中国全球变化研究中的应用, 全球变化与我国未来的生存环境, 符淙斌, 严中伟主编, 北京: 气象出版社, 1996, 175~184.
- 10 罗天祥, 中国主要森林类型生物生产力格局及其数学模型, 中国科学院自然资源综合考察委员会博士论文, 北京, 1996.
- 11 李继由, 西藏地区光合生产力估算, *自然资源*, 1980, **1**, 58~62.
- 12 孙睿, 朱启瑾, 中国陆地植被净第一性生产力及季节变化研究, *地理学报*, 2000, **55**, 36~45.
- 13 Schulze, E.-Detlef, F. M. Kelliher, C. Körner et al., Relationships among maximum stomatal conductance, ecosystem surface conductance, carbon assimilation rate, and plant nitrogen nutrition: a global ecology scaling exercise, *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 1994, **25**, 629~660.

A Simulation Study of Atmosphere-Vegetation Interaction over the Tibetan Plateau Part II: Net Primary Productivity and Leaf Area Index

Lu Jianhua and Ji Junjun

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract The simulated distributions of leaf area index (LAI) and net primary productivity (NPP) of the vegetation over the Tibetan Plateau by atmosphere-vegetation interaction model (AVIM) are presented. The Results show that NPP and LAI decrease from the southeast to the northwest of the plateau. The simulated distributions of LAI and NPP are close to the observed distributions and it is pointed out that they are controlled by both thermal and moisture conditions.

Key words: atmosphere-vegetation interaction; Tibetan Plateau; net primary productivity; leaf area index