

气候因子对寒温带落叶针叶林 NPP 影响的数值试验分析

赵 玲^{1,2} 周锁铨¹

(1. 南京气象学院, 210044; 2. 黑龙江省大兴安岭地区气象局)

提 要

利用陆面过程与植被生理生长过程耦合的 BATS1E 模式,使用大兴安岭林区漠河 2001 年和 2002 年常规地面气象观测资料和辐射观测资料,对我国北方寒温带落叶针叶林生长与气候因子之间的关系进行了试验模拟分析。结果表明:在不同的时间尺度上,NPP 与气候因子之间的关系不同,NPP 的日变化与太阳辐射关系最为密切,逐日 NPP 与日降水量具有一定的反相关关系,月 NPP 与月平均气温存在着明显的正相关关系。

关键词: 寒温带落叶针叶林 NPP 气候因子

引 言

陆地植被的净第一性生产力 NPP(Net Primary Productivity)是人类赖以生存的物质基础。对于农田生态系统在碳循环中作用的研究一直以来都很受重视,尤其是对于小麦、大豆、玉米、水稻、棉花等农作物的产量与 CO₂ 浓度和气候变化之间关系的研究很多^[1,2]。近年来,国内学者对我国森林植被净第一性生产力的研究也已经开始^[3~5],但是在较短的时间尺度内,针对森林植被生长过程中 NPP 与气候环境因子之间关系的研究还很少。生物圈—大气传输方案(Bio-

sphere-Atmospheric Transfer Scheme, BATS)^[6]是研究陆面过程的一种较为复杂的数值模式,该模式较好地描述了陆面—大气之间动量、能量和水汽的传输,我国学者曾经对 BATS 的陆面过程进行了一些改进试验^[7,8]。本文利用大兴安岭林区漠河 2001 年和 2002 年常规的地面气象观测资料和辐射观测资料,利用 BATS1E 模式中的植被生长模型,对我国寒温带落叶针叶林生长与气候因子在不同时间尺度上的关系作一尝试性试验模拟分析。以期对研究气候变化与陆地生态系统的关系有一定的作用。

1 资料和方法

1.1 资料

本研究选取大兴安岭林区漠河气象观测站(53°28'N、122°22'E)的资料进行计算分析。选用漠河2001年和2002年每天四次的常规地面气象观测资料和每小时一次的太阳总辐射观测资料,相应的陆面模式采取6h的时间步长。大兴安岭地区以耐寒的寒温带落叶针叶林为优势树种,土壤类型主要为暗棕壤^[9]。从观测资料中读取的气象参量有气温、气压、水汽压、风速、风向、降水量和相对湿度,重要初始参数取值如表1所示。

表1 重要初始参数取值

陆表覆盖类型	上层土壤水分/mm	根层土壤水份/mm	总土壤水分/mm	土壤质地指数	土壤颜色指数
4	20	200	2000	5	6

在模拟计算之前,把每个时次的风向和风速转化成风的 u 、 v 分量;每个时次的降水量选用日降水量的 1/4 近似代替;所用时次的辐射资料用相邻两个时次观测值的平均值代替。

1.2 BATSIE 模式中植被生长过程

绿色植物必须通过光合作用,才能把无机物转化为有机物。叶绿体主要吸收可见光部分。单位时间和单位面积上植物总的初级生产量,减去呼吸作用消耗的,余下的有机物质是净第一性生产力^[4,10]。

本模型依据植物生理生态过程和生产力形成的机理,较为全面地考虑了光、温度、降水、湿度和风等气象要素以及 CO₂ 浓度对光合作用和呼吸作用的影响。

在植被生长过程试验中,不同时间尺度内的净第一性生产力 NPP 用式(1)计算。

$$NPP_i = C_i \Delta t$$

$$NPP = \sum NPP_i \quad (1)$$

NPP_i 为某时间 Δt 内植物的净第一性生产力; Δt 为时间间隔,单位为 s,本次试验中 Δt 取为 6h,即 21600s; $i = 1, 2, 3, 4, \dots, i$ 每 6h 增加 1; C_i 为该时间内的植物固碳率,单位为 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,用式(2)计算;不同时间尺度内的 NPP 是所有 NPP_i 的累计之和,6h 内 NPP 的单位为 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 6\text{h}^{-1}$,每日累计 NPP 的单位为 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$,每月累计 NPP 的单位为 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{m}^{-1}$,每年累计 NPP 的单

位为 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

$$C_i = \sigma I_{la} f_{dry} C_{I_{la}} \quad (2)$$

σ 为植被覆盖率; I_{la} 为叶面指数,随季节在最大和最小值之间变化,最大值和最小值取决于植被类型,季节决定因子主要依赖于次表层土壤温度; f_{dry} 为干叶面百分比。

$C_{I_{la}}$ 为植物净光合生产率,单位为 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。当植物吸收的可见光辐射 $V_f > 2W \cdot \text{m}^{-2}$ 时,用式(3)计算植物叶面光合速率;当植物吸收的可见光辐射 $V_f \leq 2W \cdot \text{m}^{-2}$ 时,用式(4)计算植物叶面呼吸速率。

$$C_{I_{la}} = Mc((1 - 0.14(\alpha + \beta) \times P) - 25(ar_m + \beta R(T_{g1}))) \quad (3)$$

$$C_{I_{la}} = -0.0003Mc((1 + \alpha)0.877r_m + \beta(R(T_{g1}) - 0.123r_m)) \quad (4)$$

$Mc = 1.2 \times 10^{-5} \text{kg} \cdot \text{mmol}^{-1}$; α 为茎面指数与叶面指数的比率; β 为根面指数与叶面指数的比率; $R(T_{g1})$ 为表层土壤温度对暗呼吸的影响; r_m 为植物对 CO₂ 的阻抗, P 为植物光合速率。 r_m 由植被类型、最小阻抗以及可见光辐射、叶面温度、水汽压、土壤含水量、拖曳系数和风速等决定;植物总光合作用速率 p 与 CO₂ 浓度、 r_m 、光呼吸、暗呼吸等因子密切相关。

本次试验除 CO₂ 浓度选取 368ppm^[1] 外,其它因子具体由 BATS 陆面模式^[6] 中的计算过程确定。

1.3 在物候方面的进一步订正

针对试验所得结果分析,如果不附加其它的物候限制条件,漠河落叶针叶林在3月初和10月下旬都有生长活动,这显然与实际不符。所以,依据文献[11],为落叶针叶林的生长附加了一个界限温度的限制条件,根据日平均气温5日滑动平均 $\geq 5^\circ\text{C}$ 确定落叶针叶林的生长季。漠河2001年和2002年 NPP 以前一种方案的计算结果如表2中的 a 所示,以后一种方案的计算结果如表2中的 b 所示,两种试验结果存在着一定偏差,本文分析选用后一种方案的试验结果。

2 模拟试验结果分析

2.1 NPP 模拟结果的合理性验证

为了确定该结果是否具有合理性,首先把计算出来的年 NPP 同其它模式对相近区

域和同样植被覆盖类型的计算结果^[3-5]进行对比分析。

表2 漠河落叶针叶林年NPP模拟结果与其它类似结果的对比 单位:kg·m⁻²·a⁻¹

2001年 试验结果		2002年 试验结果		周广 胜 ^[4]	王绍 强 ^[5]	李银 鹏 ^[3]
a	b	a	b			
0.379	0.339	0.421	0.404	0.49	0.35	0.377

从表2中可以看出:本模式对2001年和2002年漠河初级生产力的试验结果与李银鹏^[3]和王绍强^[5]等人的结果比较接近,只是比周广胜^[4]等人的结果偏小;另据文献^[7]记载,大兴安岭地区落叶松林平均每年固定碳0.356kg·m⁻²,这同本次试验模拟结果也较为相近。所以认为这种结果比较合理。

2.2 NPP的日变化及其同气候因子之间的关系

NPP的模拟结果能较好地反映出漠河落叶针叶林生长的日变化特点。一般情况下,白天为正值,积累干物质,夜间为负值,消耗干物质。但是白天遇有阴雨或者云量较多时,光合作用小,呼吸作用大,NPP较小甚至会出现负值(图1a)。阴雨天气NPP的日变化比较复杂,有时有一个峰值,有时有两个峰值,峰值出现时间主要决定于太阳辐射峰值的出现时间。在夏至前后两个月左右的晴天里,林木光合作用的“午休”现象(图1b)表现十分明显,NPP分别在08时和20时出现两个峰值,而在14时出现一个小谷值。

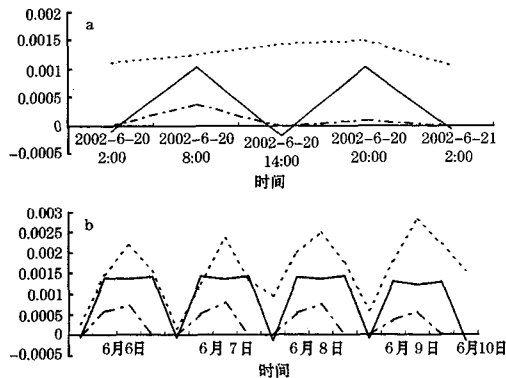


图1 漠河落叶针叶林NPP的日变化
a. 阴雨天气, b. 晴天

实线为NPP(kg·m⁻²·6h⁻¹),点划线为太阳辐射(10⁶·w·m⁻²·s⁻¹),虚线为气温(10⁴°C)

2.3 逐日NPP变化及其同气候因子之间的关系

夏季晴好天气光合作用较强时日NPP可达到0.004kg·m⁻²·d⁻¹左右,阴雨天气时日NPP可降至0左右。可以用图2所示的对数关系来近似表示降水量同日NPP存在着的反相关趋势,即降水少对应的日NPP较大,降水多对应的日NPP较小。

2.4 月NPP变化与气候因子之间的关系

2001年和2002年落叶针叶林生长季内月NPP差别比较明显(图3),通过计算这两年4~9月12个样本资料各气候要素同月NPP之间的相关系数,发现月平均气温对月NPP的影响很大,正相关系数达到了0.8918。

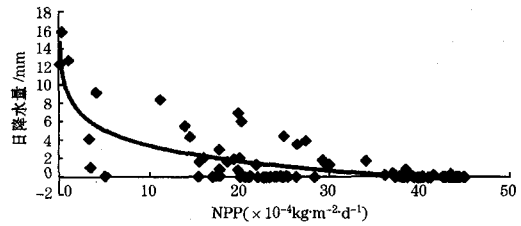


图2 2002年漠河落叶针叶林逐日NPP与降水量之间的关系

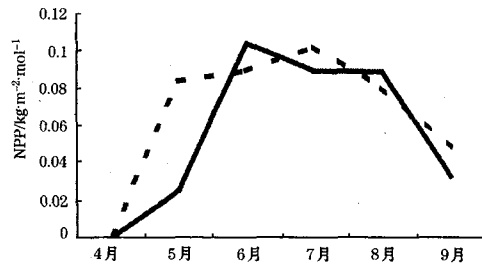


图3 漠河2001年与2002年落叶针叶林逐月NPP对比图

利用月平均气温线性拟合月NPP,效果较好(图4),由此可以判断月平均气温在漠河落叶针叶林的生长过程中起着最重要作用。拟合方程为:

$$Y = 0.00550354X - 0.00293106 \quad (5)$$

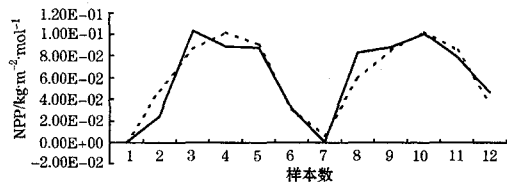


图4 利用月平均气温模拟2001年和2002年4~9月NPP
实线为模式输出NPP,虚线为方程模拟NPP
在(5)式中:预报对象Y为漠河月NPP,

X 为漠河月平均气温。

可以把逐月 NPP 累加起来估算年 NPP。虽然式(5)也是一个基于气候变量的经验方程来描述 NPP, 但认为应该比利用 Miami 模式^[10]来估算寒温带落叶针叶林的年 NPP 更为合理, 因为 Miami 模式采用的预报因子是年平均气温, 而不是生长季内的平均气温。

3 小结与讨论

(1) 寒温带落叶针叶林 NPP 的日变化、逐日变化和月变化对不同的气候因子有着不同的响应。NPP 的日变化与太阳辐射关系最为密切, 逐日 NPP 与日降水量具有一定的反相关关系, 月 NPP 与月平均气温存在着明显的正相关关系。既可以利用 BATS1E 模式模拟计算不同时间尺度的 NPP, 又可以使用方便的线性拟合方程来估算月 NPP 和年 NPP。

(2) 由于 2000 年以前漠河缺乏系统的太阳辐射观测资料, 所以本次试验只模拟计算了 2001~2002 年的结果, 每年落叶针叶林的生长季为 4~9 月, 对于月 NPP 变化与气候因子之间的关系, 两年只有 12 个样本资料。一般情况下, 样本数少对于相关性的稳定程度会有影响, 至于本次试验中影响程度如何, 有待于积累更多的资料后进行验证。

(3) 在本次试验模拟结果的基础上, 建议今后进一步研究 CO₂ 浓度增倍和气候变化对落叶针叶林生长的可能影响, 意义将更为重大。

参考文献

- 1 王毅堂. CO₂ 浓度增加对植物生长和农业生产的影响. 气象, 1993, 19(7): 8~13.
- 2 曾燕, 邱新法, 黄海智. 影响我国主要粮食作物产量的气象因子研究. 气象, 2002, 28(9): 36~40.
- 3 李银鹏, 季劲钧. 全球陆地生态系统与大气之间碳交换的模拟研究. 地理学报, 2001, 56(4): 379~389.
- 4 周广胜, 张新时. 全球气候变化的中国自然植被的净第一性生产力研究. 植物生态学报, 1996, 20(1): 11~19.
- 5 王绍强, 周成虎, 刘纪远等. 东北地区陆地碳循环平衡模拟分析. 地理学报, 2001, 56(4): 390~400.
- 6 Dickinson R E, Henderson-Sellers A, Kennedy P J et al. Biosphere-atmosphere transfer scheme (BATS) for the NCAR Community Climate Model. Tech. Note, NCAR/TN-275 + STR, 1986, Boulder.
- 7 周锁铨, 代刊, 陈涛等. 陆面过程模式的改进与试验. 气象学报, 2003, 61(3): 275~290.
- 8 张晶, 丁一汇. 一个改进的陆面过程模式及其模拟实验研究. 气象学报, 1998, 61: 275~290.
- 9 大兴安岭林业科学研究所. 黑龙江省大兴安岭森林功能定位研究报告. 加格达奇, 2003: 5~8, 200~201.
- 10 方精云, 唐艳鸿, 林俊达等. 全球生态学—气候变化与生态响应. 北京: 高等教育出版社, 2000: 191~211.
- 11 Foley J A, Prentice I C, Ramankutty N et al. An integrated biosphere model of land surface processes, terrestrial carbon balance, and vegetation dynamics. Glob. Biogeochem. Cyc., 1996, 10: 603~628.

Numerical Experiment and Analysis of Climatic Factors and Deciduous Needle-leaf Forest's NPP in Cold-temperate Zone

Zhao Ling^{1,2} Zhou Suoquan¹

(1. Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044;

2. Da Xinganling Meteorological Office, Jiagedaqi, Heilongjiang Province)

Abstract

Based on the meteorological observation data of surface and solar radiation from 2001 to 2002 in Mohe, Heilongjiang Province, using the BATS1E model with 6h time step, the BATS land surface process was coupled with vegetation growth process. The relationship between the growth of the deciduous needle-leaf forest in cold-temperate zone and the climatic factors is analyzed. The results show that the relation for various time scales is different. The diurnal variation of NPP has closer relationship with the solar radiation and the daily NPP has some negative correlation with precipitation. The monthly NPP has apparently active correlation with monthly average air temperature.

Key Words: deciduous needle-leaf forest in cold-temperate zone NPP climatic factor