

# 福建近 41 年气候变化对自然植被 净第一性生产力的影响

闫淑君, 洪伟, 吴承祯, 毕晓丽  
(福建农林大学林学院, 福建南平 353001)

**摘 要:** 从福建建瓯、尤溪、南靖三区近 41 年自然植被净第一性生产力(*NPP*)的时空变化, 讨论了全球气候变化对三区自然植被 *NPP* 的影响。结果表明: 三区近 41 年 *NPP* 平均为  $18 \text{ t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ , 呈略为上升的趋势; 当年平均温升高  $2^\circ\text{C}$  且降水量增加 20% 或不变, 各地的 *NPP* 呈升高趋势; 当年平均温升高  $2^\circ\text{C}$  且降水量减少 20% 时, 建瓯和南靖的 *NPP* 值有升高的趋势, 而尤溪的 *NPP* 值有下降的趋势。

**关键词:** 气候变化; 净第一性生产力; 福建

**中图分类号:** S718.55<sup>+</sup>6

**文献标识码:** A

许多研究表明, 大气中  $\text{CO}_2$  及其它痕量气体含量急增, 温室效应加剧了全球变暖, 并带来一系列的环境问题<sup>[1]</sup>。20 世纪 80 年代是全球气候变暖最显著的 10 a, 也是近 40 a 来中国气候变暖最显著的 10 a, 80 年代中国气候变暖有明显的区域性和季节性差异<sup>[2]</sup>。气候变化必然会引起自然生态环境的变化, 进而影响自然植被生产力。高素华等<sup>[3]</sup> 从分析我国 40 a 气温变化特征出发, 初步分析了气温变化对农业、植被生产力的影响; 刘文杰<sup>[4]</sup> 分析了西双版纳近 40 a 气候变化对自然植被净第一性生产力的影响; 郑元润等<sup>[5]</sup> 根据建立的农业生产力模型, 分析了  $\text{CO}_2$  浓度倍增后的中国农业的净第一性生产力; 周广胜等<sup>[6]</sup> 分析了  $\text{CO}_2$  倍增后中国植被的净第一性生产力。福建地处东南沿海, 分为南亚热带和中亚热带两部分, 气候受海洋和地形影响很大, 因此气候对自然植被生产力存在显著影响, 其影响程度及规律值得探讨, 但未见报道。由于福建沿海地区受海洋的影响, 其降水和温度变化不明显, 因此选取分别代表福建北部、中部和南部的建瓯、尤溪和南靖三个地区, 利用其气象站 1960~2000 年的气象资料, 根据植物实际蒸散量建立的植被净第一性生产力模型<sup>[6~8]</sup>, 计算了植被净第一性生产力, 分析其随气候变化的规律和特点。同时, 对自然植被净第一性生产力对于气候的敏感性进行研究。

## 1 材料和方法

气象资料取自福建各地气象台、站 1960~2000 年的气象记录, 所用指标有经纬度、海拔高度、年气温、年降水量等。

### 1.2 植被净第一生产力的估算

自然植被净第一性生产力反映了植物群落在自然环境状态下的生产能力。在自然环境条件下, 植物群落和生产能力除受植物本身的生物学特性、土壤特性等限制外, 主要受气候因子的影响。为此, 前人利用植被产量与气候因子间的相互关系, 建立了相应的植被净第一性生产力数学模型<sup>[9, 10]</sup>。国内一些学者采用国际上流行的自然植被净第一性生产力估算模型: Miani 模型、Thomthwaite Memorial 模型和 Chikugo 模型对中国自然植被的气候生产潜力及其对气候变化的反应进行了模拟研究<sup>[7, 11]</sup>, 并开始探讨建立更为完善的自然植被净第一性生产力模型<sup>[12, 13]</sup>。本文研究区为亚热带湿润区, 拟采用以蒸散量自变量而建立的共同作用, 因为蒸散量能把水热平衡联系在一起, 它是地区水热状况的综合表现; 同时, 蒸腾与植物光合作用有关, 通常蒸腾作用愈强, 光合作用也愈强; 光合作用愈强, 植物生产力也就愈高。因此蒸散量与植物产量密切相关, 因为蒸腾是蒸散量的重要组成部分。Thomthwaite 纪念模型为

收稿日期: 2000-06-29.

基金项目: 福建省科委重大资助项目(闽财指[2001] 338 号)。

作者简介: 闫淑君(1975-), 女(汉族), 河南长葛人, 种群生态方向硕士。

$$NPP_E=3000(1-e^{-0.0009695(E-20)}) \tag{1}$$

式中  $NPP_E$  为由实际蒸散量所求得的净第一性生产力( $g\ hm^{-2}\cdot a^{-1}$  本文把其转换为  $t\ hm^{-2}\cdot a^{-1}$ ); 3 000 是 Lieth 经统计得到的地球自然植物在每年每平方米的最高干物质产量( $g$ );  $E$  为年实际蒸散量( $mm$ ), 其  $E$  的计算公式为

$$E=1.05P/\sqrt{1+(\frac{1.05P}{L})^2} \tag{2}$$

式中  $P$  为年平均降水量( $mm$ );  $L$  为年平均最大蒸散量, 它是温度  $t$  的函数,  $L$  与  $t$  的关系式为

$$L=300+25t+0.05t^3 \tag{3}$$

只有当  $P/L>0.316$  时, (3) 式才适用; 若  $P/L<0.316$ , 则  $E=P$ 。

2 不同区近 41 a  $NPP$  的变化

2.1 不同区近 41 a  $NPP$  的变化

图 1 为福建建瓯、尤溪、南靖三地区近 41 a 自然植被净第一性生产力时间变化曲线。由图可见, 三区  $NPP$  年际变化大体相似, 均是在 1971 年出现 41 a 内最低值。最高值虽不在同一年(三区分别在 1998、1998、2000 年, 但均有极高值与其对应。同时,  $NPP$  曲线 41a 内有四个高值期, 分别在 60 年代初期, 70 年代中期, 80 年代中期, 90 年代后期, 南靖地区有明显的三个代值期, 分别为 70 年代初期, 80 年代初期, 90 年代初期,  $NPP$  大致有约 10 a 的波动周期。建瓯和尤溪在 70 年代初期和 90 年代末期有明显的低值期, 在 80 年代  $NPP$  波动很小。同时, 近 41 a 来,  $NPP$  值有略为上升的趋势。

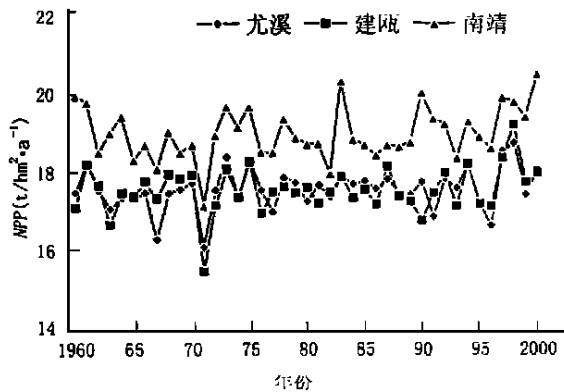


图 1 福建三地  $NPP$  年际变化曲线

Fig.1 The annual variation curve of  $NPP$  partial areas in Fujian

表 1 为福建三地区不同年代  $NPP$  值。近 41 a 来南靖的  $NPP$  值在任一时期均高于建瓯和尤溪的  $NPP$  值, 而建瓯的  $NPP$  值与尤溪的  $NPP$  值相近, 它们 41 a 来的  $NPP$  值平均值相等。从 60 年代到 70 年代, 建瓯和南靖的  $NPP$  值略有下降, 而尤溪略有上升; 到 80 年代, 建瓯和尤溪的  $NPP$  值均有所上升, 而南靖却没有变化, 仍为  $18.8t\ hm^{-2}\cdot a^{-1}$ ; 到 90 年代, 建瓯和地靖有所上升, 而尤溪分别为不变。从 60 年代到 90 年代, 三地区的  $NPP$  值都有上升的趋势, 南靖上升了  $0.5t\ hm^{-2}\cdot a^{-1}$ , 建瓯和尤溪分别上升了  $0.1t\ hm^{-2}\cdot a^{-1}$ ,  $0.2t\ hm^{-2}\cdot a^{-1}$ 。

表 1 福建建瓯、尤溪和南靖不同年代  $NPP$  值( $t\ hm^{-2}\cdot a^{-1}$ )  
Table 1 Natural vegetation  $NPP$  of different periods in Jianou, youxi and Nanjing of Fujian ( $t\ hm^{-2}\cdot a^{-1}$ )

地点	建瓯	尤溪	南靖
纬度	26°38′~27°20′	25°8′~26°3′	24°26′~24°59′
经度	117°58′~118°57′	117°8′~118°6′	117°0′~119°36′
60 年代	17.5	17.4	18.9
70 年代	17.4	17.5	18.8
80 年代	17.5	17.6	18.8
90 年代	17.6	17.6	19.4
平均	17.5	17.5	19.0
最大值	19.15	18.69	20.45
出现年份	1998	19998	2000
最小值	15.4	16.0	17.1
出现年份	1971	1971	1971

2.2 气候变化与自然植被净第一性生产力变化

表 2 为建瓯、尤溪和南靖的气温、降水和  $NPP$  的变化。总体上, 三地的平均气温呈纬向分布, 自南向北递减; 降水量在地理上的分布, 受地形的影响, 西北多, 东南少, 山地多, 平原少, 三地因所处位置同, 地形变化制约着水热条件重新组合的分异尤溪位于戴云山的背风坡, 由于山体的阻挡而使其降水量少, 建瓯和南靖分别位于武夷山和戴云山山体的迎风坡, 来自海洋的水汽受到地形的抬升作用, 形成大量的降水, 南靖离海洋较近, 受东面季风的影响, 降水量更多, 年平均降水为  $1\ 772.5mm$ ; 因近 41 a 来南靖的年平均温和年降水量均位于首位, 其  $NPP$  值也居首位( $19.0t\ hm^{-2}\cdot a^{-1}$ ), 建瓯和尤溪相等,  $NPP$  为  $17.5t\ hm^{-2}\cdot a^{-1}$ (表 2)。

60 年代建瓯和尤溪的气温为 0 值区, 南靖为负距平(表 2); 70 年代负距平北移到尤溪、建瓯, 而南靖为 0 值区; 80 年代三区均为负距平, 且大于 60 年

代和 70 年代,距平值从 $-0.4^{\circ}\text{C}\sim-0.2^{\circ}\text{C}$ ,说明从 60 年代到 80 年代三区的气温呈下降趋势,80 年代气温最低,在全球气候变暖最显著的 10 a 研究区年均气温却在下降(表 2),这与黄文堂<sup>[5]</sup>的研究结果相一致,反映出 80 年代中国气候变暖有明显的区域性差异。到 90 年代距平值有所提高,说明气温有所回升,且为近 41 a 来气温最高时期。

对于近 41 a 来的降水,从总体上说三区均呈上升趋势(表 2)。60 年代三地区均为负值区,70 年代,负距平值有所减少,而尤溪为正距平值;到 80 年代,正距平值区域扩大到南靖地区;90 年代正距平值的区域进一步扩大,三个地区均为正距平值,且变

幅从 16.5mm~113.9mm。可见三个地区 60 年代为枯水期,建瓯和南靖有相同的变化趋势,从 60 年代到 90 年代降水量不断上升,而尤溪的降水量 70 年代达到最大,80 年代有所下降,90 年代又有所回升。

*NPP* 值受温度和降水的综合作用,温度和降水的变化直接影响着 *NPP* 的变化。建瓯的 *NPP* 值呈降→升趋势,尤溪 *NPP* 值近 41 a 来不断上升,南靖的 *NPP* 值也呈降→升的趋势(表 2)。从总体来看,近 41 a 来三区的 *NPP* 值呈上升趋势,90 年代又为高值期,这与高素华<sup>[3]</sup>和刘文杰<sup>[4]</sup>的研究结果相反,说明地域不同,*NPP* 的变化规律也有所不同。

表 2 1960~2000 年福建三地区气候变化与植被净第一性生产力变化

Table 2 The change of climatic and net primary productivity of vegetations of Jianou, youxi and Nanjing in Fujian from 1960 to 2000

地名	$T(^{\circ}\text{C})$	$T_1-T^{\circ}\text{C}$	$T_2-T^{\circ}\text{C}$	$T_3-T^{\circ}\text{C}$	$T_4-T^{\circ}\text{C}$	$P(\text{mm})$	$P_1-p(\text{mm})$	$P_2-p(\text{mm})$
建瓯	18.8	0	-0.2	-0.2	-0.2	1679.0	-15.2	-7.1
尤溪	19.0	0	-0.1	-0.1	-0.2	1611.8	-68.2	43.6
南靖	21.1	-0.1	0	-0.4	-0.1	1772.5	-73.5	-65.2

地名	$P_3-p$ (mm)	$P_4-p$ (mm)	$NPP$ $\text{t}/\text{hm}^2\text{a}^{-1}$	$NPP_1-NPP$ $\text{t}/\text{hm}^2\text{a}^{-1}$	$NPP_2-NPP$ $\text{t}/\text{hm}^2\text{a}^{-1}$	$NPP_3-NPP$ $\text{t}/\text{hm}^2\text{a}^{-1}$	$NPP_4-NPP$ $\text{t}/\text{hm}^2\text{a}^{-1}$
建瓯	-4.1	23.8	17.5	0	-0.1	0	0.1
尤溪	7.9	16.5	17.5	-0.1	0	0.1	0.1
南靖	24.7	113.9	19.0	-0.1	-0.2	-0.2	0.4

$T$ :1960~2000 年年平均气温; $T_1-T_2$ :60 年代年均沅的距平值; $T_2-T$ :70 年代年均温的距平值; $T_3-T$ :80 年代年均温的距平值; $T_4-T$ :90 年代年均温的距平值; $P$ :1960~2000 年年平均降水量; $P_1-P$ :60 年代年降水量的距平值; $P_2-P$ :70 年代年降水量的距平值; $P_3-P$ :80 年代年降水量的距平值; $P_4-P$ :90 年代年降水量的距平值; $NPP$ :1960~2000 年 *NPP* 平均值; $NPP_1-NPP$ :60 年代 *NPP* 的距平值; $NPP_2-NPP$ :70 年代 *NPP* 的距平值; $NPP_3-NPP$ :80 年代 *NPP* 的距平值; $NPP_4-NPP$ :90 年代 *NPP* 的距平值。

2 3 近 41 a*NPP* 的区域分布特征

根据福建省 1969 年气象台、站的气象资料计算 *NPP* 值并绘制其分布图(图略)。福建省 *NPP* 基本上呈纬向分布,随着纬度增加而减少,南部沿海地区的南靖、平和和云霄为高值区(*NPP* 值为  $19.0\text{t}/\text{hm}^2\text{a}^{-1}$ ),东部周宁和屏南形成低值区(*NPP* 为  $15.5\text{t}/\text{hm}^2\text{a}^{-1}$ ),造成这种差异的主要原因是南部地区是水热充足区,而周宁和屏南其降水也相当丰富,分别为  $2\,047.8\text{mm}$  和  $1\,827.6\text{mm}$ ,而其年均温分别为

$14.6^{\circ}\text{C}$ 和  $15^{\circ}\text{C}$ ,说明福建东部地区,热量相对于水分的不足是限制植物生长的因素之一,中部地区水热居中,其 *NPP* 值也居中。

3 气候变化对 *NPP* 的可能影响

根据若干大气环流模型(GCM)对  $\text{CO}_2$  浓度倍增后中国大陆气温和降水变化的预测,最可能的一般结果可综合如下<sup>[5,14]</sup>:

- 1 年均气温增加  $2^{\circ}\text{C}$ ,年降水量增加 20%;
- 2 年均气温增加  $2^{\circ}\text{C}$ ,年降水量减少 20%;
- 3 年均气温增加  $2^{\circ}\text{C}$ ,年降水量不变。

据此对福建建瓯、尤溪和南靖三地区自然植被净第一性生产力对气候变化的反应进行了模拟(表 3),温度增加  $2^{\circ}\text{C}$ ,年降水量减少 20%,三地对气候变化的反应不尽相同,对于降水丰富的建瓯和南靖,其 *NPP* 值分别增加 0.33%、1.81%,而对于降水相对较低的尤溪的 *NPP* 值减少 0.22%;温度增加  $2^{\circ}\text{C}$ ,年降水量不变,三区的 *NPP* 值增长率分别为 6.01%、5.77%和 5.72%,说明三地现有的降水量相对于温度较为充足,温度的

提高有利于提高植被的生产力; 气温增加 2℃, 年降水量增加 20% 时, 三区的 *NPP* 值有大幅度的提高, 各地 *NPP* 增长率分别为 9.58%、9.60%、8.02%, 在降水相对过剩的条件下, 温度升高有利于植被干物质的累积, 从

而提高其生产力。从近 41 a 三地的温度和降水的变化趋势来看全球气候变化有利于福建自然植被的生长。但全球气候变化会导致一系列的生态与环境改变, 对气候变化与自然植被的 *NPP* 的关系还需综合考虑。

表 3 目前及 CO<sub>2</sub> 浓度增加后福建三地区的自然植被气候生力产

Table 3 <i>NPP</i> of natural vegetation of three areas in Fujian under Present situation and the global warming caused by doubled CO <sub>2</sub>							
地名	<i>P</i> −20%, <i>T</i> +2℃	增加(%)	<i>P</i> 不变, <i>T</i> +2℃	增加(%)	<i>P</i> +20%, <i>T</i> +2℃	增加(%)	预测目前 <i>NPP</i> 值
建瓯	18.02	0.33	19.04	6.01	19.68	9.58	17.96
尤溪	17.99	−0.22	19.07	5.77	19.76	9.60	18.03
南靖	20.82	1.81	21.62	5.72	22.09	8.02	24.45

4 讨论

80 年代中国气候变暖有明显的区域性<sup>[2]</sup>, 沿海的福建省 80 年代的年均温不但没有上升, 反而有所下降, 且是近 41 a 来最低值期, 因此气候变化具有地域性, 不能一概而论。本文仅从温度和降水两个气候因子分析了近 41 a 来福建三地 *NPP* 的变化特征以及福建省近 41 a 来 *NPP* 的地域分布。但自然植被净第一性生产力除受温度和降水的影响, 还受地貌、地形、土壤等因素的影响, 而且不同的位置(不同的海拔高度、不同的坡向)其温度和降水有所变化, 因此关于自然植被净第一性生产力的估算, 有待于进一步的探讨。另外, 关于自然植被净第一性生产力对气候变化的响应的预测的研究存在着不足之处是:

1. 未来气候变化情景的预测结果有不确定性, 这主要来源于 GCM 模型本身的结构和较低的区域气候分辨率;
2. 自然植被净第一性生产力对气候变化响应的预测, 仅仅依据气候与净第一性生产力之间的平衡关系, 没有考虑到自然植被在气候变化过程中的生理、生态、生长等方面的适应与驯化反应, 还有在种群、群落和生态系统、景观尺度上自然植被系统的变化, 生物体间复杂的竞争、繁殖和演替过程等等;
3. 中国自然植被生产力对气候变化响应的预测主要依据平均的气候因子的变化, 而没有考虑气候因子的季节变异, 以及土壤等其它因素的影响。因此, 对气候变化与自然植被的净第一性生产力的关系还需综合考虑。

参考文献:

[1] 张家诚. CO<sub>2</sub> 气候效应与华北干旱问题. 气象[ J ] 1989, 15(3): 20 ~ 25.

[2] 章基嘉. 40 年来中国气候变化. 天津气象[ J ], 1992, (1): 1 ~ 15.

[3] 高素华. 气候变化对植物气候生产力的影响[ J ]. 1994, 20(1): 30 ~ 33.

[4] 刘文杰. 西双版纳近 40 年气候变化对自然植被净第一性生产力影响[ J ]. 山地学报, 2000, 18(4): 296 ~ 300.

[5] 郑元润, 周广胜, 张新时, 等. 农业生产力模型初探[ J ]. 植物学报, 1997, 39(9): 831 ~ 836.

[6] 周广胜, 郑元润, 陈四清, 等. 自然植被净第一性生产力模型及其应用[ J ]. 林业科学, 1998, 34(5): 3 ~ 10.

[7] 张宪洲. 我国自然植被净第一性生产力的估算与分布[ J ]. 自然资源, 1993 (1): 15 ~ 21.

[8] 洪伟, 吴承祯. 杉木人工气候生产潜力及其地理分布模型的研究[ J ]. 武夷科学, 1995, (12): 167 ~ 173.

[9] Lieth H. whittaker R H. Primary productivity of the Biosphere. New York: Springer Verlay, 1975

[10] Uchijiam I. Seino H. Agroclimatic Evalution of Net Primary Productivity of Natural Vegetation. (1) Chikugo Model for Evalution Net Primary Productivity. Journal of Agriculture Meteorology, 1985, 40: 343 ~ 352.

[11] 贺床棠. 中国植物的可能生产力—农业和林业的气候产量[ J ]. 北京林业大学学报, 1986, (2): 84 ~ 97.

[12] 周广胜, 张新时. 自然植被净第一性生产力模型初探[ J ]. 植物生态学报, 1995 (2): 84 ~ 97.

[13] 朱志辉. 自然植被第一性生产力模型[ J ]. 科学通报, 1993, 38 (15) 1422 ~ 1426.

[14] 郑元润, 周广胜, 张新时等. 中国陆地生态系统对全球变化的敏感性研究院[ J ]. 植物学报, 1997, 39(9): 837 ~ 840.

[15] 黄文堂. 近 50 年福建气温、降水变化的统计特征[ J ]. 气象, 1994 20(7): 19 ~ 25.

## Impact of Climatic Variation on Net Primary Productivity of Natural Vegetation in Fujian in Recent 41 Years

YAN Shu-jun, HONG Wei, WU Cheng-zhen and BI Xiao-li

(*Fujian Agriculture and Forestry university, Nanping 353001 China*)

**Abstract:** In the paper, the temporal and spatial change of Net primary productivity (*NPP*) in three regions of Jianou, Youxi and Nanjing in Fujian Province were estimated by *NPP* model of natural vegetation, based on the climatic data from 1960 to 2000. And the effects of global climatic change on *NPP* are discussed. The results showed that the *NPP* value was mainly  $18\text{t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$  under the recent 41 years, and had a little rise tendency. When the annual mean temperature increased by  $2^\circ\text{C}$  and the annual precipitation unchanged or increased by 20%, *NPP* may increase by 1.06% ~ 1.10%. When the annual mean temperature increased by  $2^\circ\text{C}$  and the annual precipitation decreased by 20%, *NPP* may increase in Nanjing and Jianou, while decrease in Youxi.

**Key words:** climatic variation; net primary productivity; Fujian