

# 西双版纳气候因子对 自然植被净第一性生产力的影响

段 刚

(云南省环境科学研究院, 云南 昆明 650034)

**摘要:** 根据气候相关模型计算了西双版纳自然植被净第一性生产力(*NPP*), 结果表明: 在一定的土壤和植被生物学特性的情况下, 西双版纳自然植被净第一性生产力随年总辐射、年降水量的变化而变化, 其中年降水量是决定该地区 *NPP* 大小的主要因子, 而西双版纳由于地理位置纬度较低, 属于热带地区, 1960~1999年40年间年平均温度变化较小, 对本地 *NPP* 的影响较弱。另外, 通过粮食产量与 *NPP* 的比较分析, 得知西双版纳地区自然资源的可利用潜力仍十分丰富, 具有较大的发展潜力。

**关键词:** 自然植被净第一性生产力; 气候因子; 生产潜力; 西双版纳

中图分类号: X 16 文献标识码: A 文章编号: 1004-390X(2005)03-0419-05

## The Factor of Climate in Xishuangbanna Effect the Net Primary Productivity of Natural Vegetation

DUAN Gang

(Institute of Environmental Science of Yunnan Province, Kunming 650034, China)

**Abstract:** Using the Chikugo model of the climatic relative Model Calculated the net primary productivity (*NPP*) of natural vegetation in Xishuangbanna. The result indicates that *NPP* of natural vegetation in Xishuangbanna vary with the variation of the annual radiate and the annual rainfall on certain condition that the soil character and the vegetation ecology character. The annual precipitation is most important factor that decide *NPP* in Xishuangbanna. During 1960~1999, the annual mean temperature varied less in Xishuangbanna, which hardly influence the variation of *NPP* in the region. In addition, comparing *NPP* with the foodstuff yield, we can get the conclusion as a follow: The natural resource is very abundant, having more the potential productivity in Xishuangbanna.

**Key words:** Net primary productivity of natural vegetation; factor of climate; production potential; Xishuangbanna

自然植被净第一性生产力(简称 *NPP*)是指植物在单位时间、单位面积上由光合作用所产生的有机物质总量中扣除自氧呼吸后的剩余部分。它是群落中植物个体不同的生理生态学特性和环境因子相互作用的产物。因此,一定区域的自然植被净

第一性生产力,除受植被自身的生物-生态特征制约外,主要决定于环境中辐射热量和水分条件的分配与组合。气候要素不仅决定了自然植被的分布,也决定了其净第一性生产力,这是地带性自然植被表现出的基本特征之一,也是气候-植被关系研究

收稿日期: 2005-05-15

作者简介: 段刚(1958-),男,吉林长春人,高级工程师,主要从事环境规划,环境影响评价等方面的研究工作。

的主要内容。另外, *NPP* 也是陆地生态系统中物质与能量运转研究的基础,除了供给植物本身外,还为所有有机体生命提供了能量和物质,因而自然植被净第一性生产力构成了生物圈的功能基础。因此,陆地 *NPP* 的研究也为合理开发、利用自然资源提供了科学依据。

## 1 *NPP* 的计算

自然植被净第一性生产力受到包括气候、土壤、植物特性及其它自然和人为因素的影响。由于数据资料和研究者经验、观点以及对不同调控因子的侧重点的差别,可将估算自然植被净第一性生产力的模型大致分为 3 类:气候相关模型、过程模型和光能利用率模型。

### 1.1 气候相关模型

依据植物生产力与水热条件(主要为气温、降水、光照等)等气候关系资料,建立相关的数学模型用于估算自然植被净第一性生产力。Miami 模型<sup>[1]</sup>, Thornthwaite Memorial 模型<sup>[1]</sup> 和 Chikugo 模型<sup>[2]</sup>是这方面的代表。其中 Chikugo 模型<sup>[2]</sup>估算 *NPP* 的公式为:

$$NPP = 0.29[\exp\{-0.216(RDI)^2\}]R_n$$

### 1.2 过程模型

依据植物生理、生态学原理来研究植物生产力,其理论基础为:光合作用是 *NPP* 的第一驱动者,气候、生态系统类型以及资源的重要性可根据它们对光合作用、生物量分配及呼吸作用的影响来评价。由于温度、光合有效辐射、大气  $CO_2$  浓度、土壤水分、大气水分等影响光合作用和生长的生理过程,模型中须综合考虑这些调控因子。这种模型的优点是机理性强,可以与大气环流模式(GCM)相耦合,有利于研究全球变化对陆地自然植被净第一性生产力的影响,同样可用来研究自然植被分布的变化对气候的反馈作用。但过程模型比较复杂,网格内的特征参数必须利用地表覆盖分类图获得,而且由于当前缺乏大多数生态系统的参数及其随时空分布的量化也变得困难,所以效果不十分满意。

### 1.3 光能利用率模型

根据资源平衡观点作为其理论基础。资源平衡观点假定生态过程趋于调整植物特性以响应环境条件。这种观点认为植物的生长是资源可利用性的组合体,物种通过生态过程的排序和生理生

化、形态过程的植物驯化,应趋向于使所有资源对植物生长有平等限制作用。在某些极端情况下,如果完全适应不可能时, *NPP* 则受最紧缺资源的限制。在资源平衡观点成立的前提下,就可以利用植被所吸收的太阳辐射以及其它调控因子来估计自然植被净第一性生产力。由于光能利用率模型将所有 *NPP* 调控因子以相对简单的方法组合在一起,并且这种观点提出了在计算 *NPP* 时可以直接利用遥感数据,使得其成为 *NPP* 模型的一个主要发展方向。

本文利用气候相关模型中的 Chikugo 模型<sup>[2]</sup>讨论西双版纳气候因子对其自然植被净第一性生产力的影响。

## 2 气候因子对 *NPP* 的影响的研究模型

Chikugo 模型<sup>[2]</sup>起初建立在生理、生态学理论基础,后又结合数学相关方法建立了 *NPP* ( $t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ )与年净辐射  $R_n$  和辐射干燥度  $RDI$  之间的相关模型:

$$NPP = 0.29[\exp\{-0.216(RDI)^2\}]R_n \quad (1)$$

式中  $RDI = R_n/L \cdot r$ ,  $r$  为全年降水量(mm),  $L$  为蒸发潜热。

该模型是以土壤水分供给充分,植物生长茂盛的蒸散量来估算自然植被净第一性生产力的,对于热带多雨地区比较合适。

本文计算分析所用的资料为西双版纳 1960 ~ 1999 年的年总辐射( $Q$ )、年降水( $r$ )、年平均气温( $T_a$ )和 1960 ~ 1999 年西双版纳粮食产量<sup>[4,5]</sup>等资料。

净辐射( $R_n$ )用公式(2)计算得到<sup>[3]</sup>:

$$R_n = Q(1 - a) - I \quad (2)$$

式中  $R_n$  为净辐射,  $Q$  为年总辐射,  $a$  为平均反射率,  $I$  为有效辐射。

有效辐射( $I$ )的计算公式如下:

$$I = 1.016\sigma Ts^4 - I \downarrow \quad (3)$$

式中  $\sigma$  为斯蒂芬-玻耳兹曼常数,  $T_s$  为表面温度,  $I \downarrow$  为向下长波辐射。

$$I \downarrow = \epsilon_0 \sigma Ta^4 (1.24 - 0.24S) \quad (4)$$

式中  $\epsilon_0$  为长波吸收系数,  $T_a$  为年均气温,  $S$  为年日照百分率。

### 3 气候因子对 *NPP* 的影响结果分析

自然植被净第一性生产力 (*NPP*) 形成主要由两类因子所决定: 一类是植物自身的生物学特征; 另一类是植物生长发育的环境因素, 即植物生态环境中的光、温度、水分、养分、土壤等的组合状况。当植物有着同样的生物学特征以及在相同的养分、土壤的情况下, 光、温度和水分等气候因子便成为决定 *NPP* 的关键因素。太阳辐射是地球能量的主要来源, 是植物进行光合作用的基本动力。温度是植物生长发育的必要条件, 它直接影响植物的生长, 影响植物的生物物理和生物化学过程; 温度还影响植物发育的速度、植物生长期的长短和生育期出现的早晚。植物生产力的高低与光合作用和呼吸作用的强弱密切相关, 而温度对这两种相反的能量过程都有影响, 在一般情况下, 各类植物的光合作用率随白天温度的升高而增高, 当温度增高达到植物最适温度的最高极限后, 光合作用率将随白天温度的继续升高而下降。水分是植物生长发育必要的物质基础, 土壤中水分严重亏缺会造成植物根部吸水困难, 植物体内水分下降, 会造成气孔逐渐关闭, 从而引起  $\text{CO}_2$  进入困难和光合作用的减弱, 其结果将导致植物的减产。

#### 3.1 总辐射及其利用率变化特征分析

图 1a 为西双版纳 40 年的年总辐射的变化趋势, 由图中可知西双版纳从 1960~1999 年的年总辐射除 2~3 年趋于平稳外, 其余各年的总辐射变化较为明显, 40 年的平均值为  $539.3 \text{ kJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{d})$ ; 运用统计方法, 将每年的值作为一个样本得出总体样本的标准差为  $48.7 \text{ kJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{d})$ , 年际变化是较为突出的。

由 *NPP* 的太阳辐射利用率  $\epsilon$  公式(公式 5), 可以计算得到西双版纳地区的 *NPP* 的太阳辐射利用率:

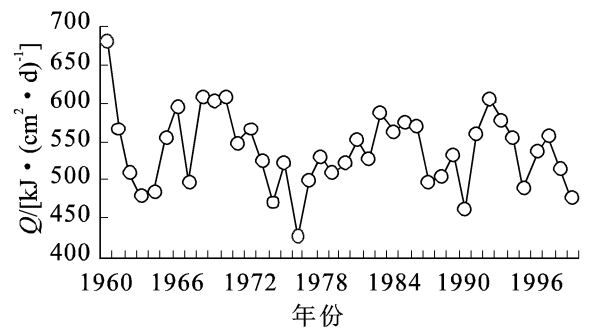
$$\epsilon = \lambda \cdot NPP / Q \quad (5)$$

式中:  $\lambda$  为干物质热值为一常量 ( $19.6 \text{ kJ}/\text{g}$ )。

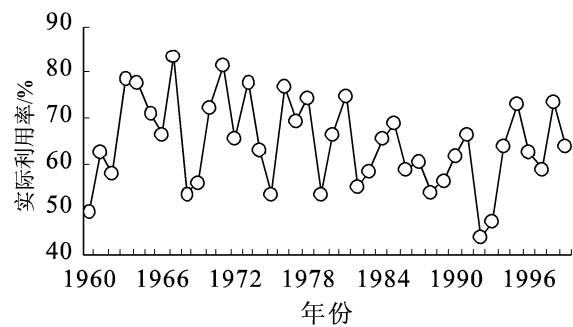
由计算可得各年 *NPP* 的太阳辐射利用率  $\epsilon$  (图 1b)。

从图 1b 可知: 1960~1999 年 40 年间  $\epsilon$  的变化趋势较为明显, 这与该期间总辐射和 *NPP* 的变化大致是相同的, *NPP* 对太阳辐射的利用率在 44%~84% 间。

#### 3.2 降水量和年均温的年际变化特征分析

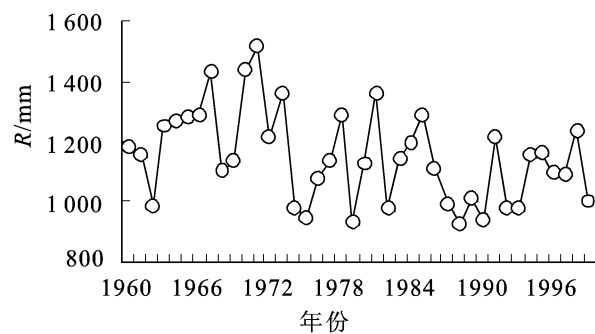


a. 总辐射

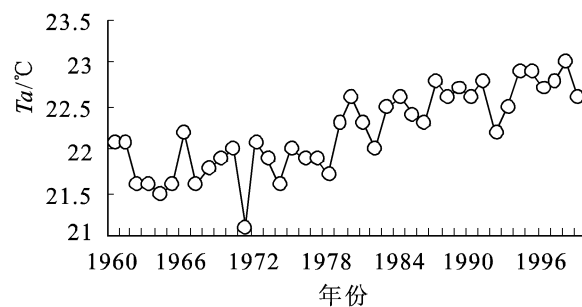


b. 实际利用率

图 1 西双版纳总辐射年际变化及 *NPP* 对总辐射的实际利用率  
Fig. 1 the interannual change of total radiation and the fact utilize ratio of *NPP* for the total radiation in Xishuangbanna



a. 年降水量



b. 年平均温度

图 2 西双版纳年降水量和年平均温度的年际变化  
Fig. 2 the interannual change of annual precipitation and the interannual change of annual mean temperature in Xishuangbanna

分析西双版纳 1960 ~ 1999 年的年降水量(图 2a),其降水量总体呈下降趋势,除 1963 ~ 1966, 1992 ~ 1993, 1994 ~ 1995 年外,其余各年的降水量的变化趋势较大。其 40 年的平均值为 1 148.69 mm,标准差为 150.74 mm。西双版纳 1960 ~ 1999 年的年平均温度(图 2b)时间变化趋势显示,除 1971 年较低外,其总体变化趋势略有上升,40 年的年平均温度为 22.2 °C,其标准差为 0.47 °C,各年的气温变化不是十分明显。

3.3 西双版纳 NPP 变化特征

通过 Chikugo 模型<sup>[2]</sup>计算得到了 1960 ~ 1999 年西双版纳 NPP 的值,其结果如图 3 所示。1960 ~ 1999 年西双版纳的 NPP 除 1963 ~ 1964, 1965 ~ 1966, 1994 ~ 1995 年这 3 个时期几乎没有变化外,各年之间的差异是较为突出的,这与该期间 Q, R 和 Ta 的变化有着密切的关系。40 年的 NPP 平均值为 17.61 t/(hm<sup>2</sup>·a),标准差为 2.46 t/(hm<sup>2</sup>·a);其 NPP 的最低值为 13.5 t/(hm<sup>2</sup>·a)(1992),最高值可达 22.8 t/(hm<sup>2</sup>·a) (1971),其差值达到 9.3 t/(hm<sup>2</sup>·a)。

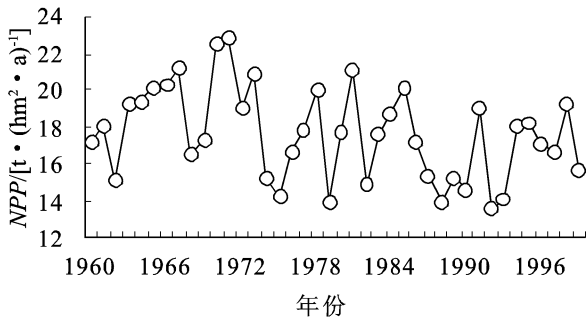


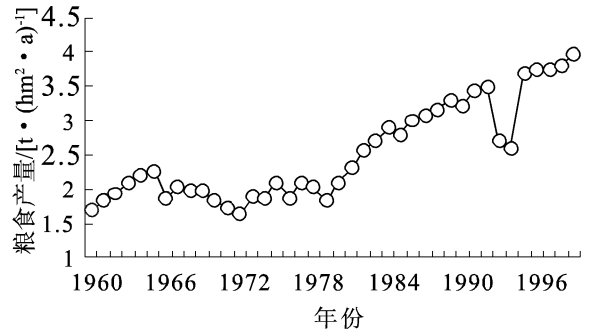
图 3 西双版纳NPP的年际变化

Fig. 3 the interannual change of NPP in Xishuangbanna

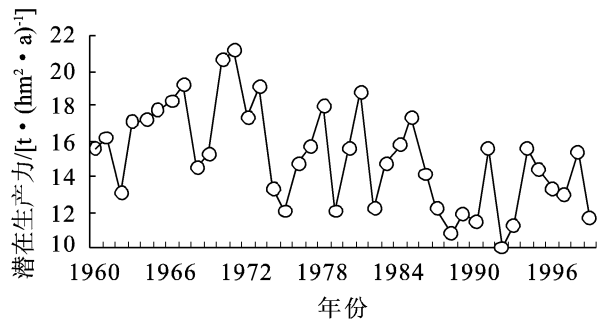
西双版纳年间 NPP 的差值最高可达 9.3 t/(hm<sup>2</sup>·a)说明了植物 NPP 的大小与当年的辐射、降水量和平均温度的高低以及这 3 个气候因子相互协调不协调有着直接、密切的关系。1971 年为所估算 NPP 的最高年份,该年的降水量为 1 514.9 mm,为 40 年来降水的峰值,年平均温度 21.1 °C 是 39 年来的最低值。该年充沛的降水加强了植物的光合作用,适合的温度使光合作用率处于较长时间的极限状态,再加上 549.8 kJ/(cm<sup>2</sup>·d) 的太阳辐射使得该年 NPP 达到 40 年的最高值;而 NPP 最低的 1992 年为较干年份,年降水量仅为

978.7 mm,平均温度为 22.2 °C,太阳辐射为 604.3 kJ/(cm<sup>2</sup>·d),再加上 3 个因子间的不协调使得 1992 年 NPP 的为 1960 ~ 1999 年间的最小值。1970 年的太阳辐射为 606.7 kJ/(cm<sup>2</sup>·d),年平均温度为 22 °C,年降水量 1 435.8 mm 是 40 年中的次高值,而估算的 NPP 也为 39 年中的次高值,达到 22.41 t/(hm<sup>2</sup>·a)。因此,可以认为,西双版纳由于有充足的光照和足够的热量,年降水量便成为西双版纳 NPP 大小的关键决定因子。另外,1988 年是 40 年间的最干年份,年降水量仅有 926.8 mm,平均温度为 22.6 °C,总辐射为 505.1 kJ/(cm<sup>2</sup>·d),低于 1992 年,而 NPP 高于 1992 年为 13.9 t/(hm<sup>2</sup>·a),由此可知,在较干年份,过高的辐射量将会对西双版纳的 NPP 产生不利影响,所以,太阳辐射同样也是影响该地区 NPP 大小的气候因子,而西双版纳年平均温度的变化(图 2b)除个别年分外,其余各年都围绕平均值 22.2 °C 上下波动不大,对该地区 NPP 的影响比较小。

3.4 西双版纳的生产潜力



a. 粮食产量



b. 潜在生产力

图 4 西双版纳粮食产量和干物质潜在生产力的年际变化

Fig. 4 the interannual change of foodstuff yield and the interannual change of The potential productivity of dry matter in Xishuangbanna

以上所讨论的是该地区的 *NPP*, 而粮食产量与理论计算的 *NPP* 有着很大的差别, 下面就以西双版纳 1960~1999 年 40 年间的粮产量<sup>[4,5]</sup> 为例加以说明(图 4a)。其中 1967, 1968, 1969, 1971, 1972, 1974, 1976, 1977 这 8 年的粮食产量因历史资料缺乏, 是通过多项式拟和而得到。

从图 4 可知: 1960~1999 年间, 其粮食产量总体呈现较为明显的上升趋势, 40 年的平均值为  $2.53 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ , 其标准差为  $0.70 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。实际粮食产量(图 4a)与各年的 *NPP* 值(图 3)所比较, 其差距是相当明显的。

另外, 西双版纳地区, 由于生产力不发达, 自然

资源的利用潜力仍很大, 其干物质的潜在生产力在  $10 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$  以上。以 1997 年为例, 该年的 *NPP* 为  $16.68 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ , 而实际产量仅为  $3.75 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ , 其间的差值达  $12.07 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ , 可见该年农作物干物质的生产潜力还具有很大的空间可以利用, 其它各年的情形也同样如此(图 4b)。

从多年平均状况来看(表 1), 西双版纳地区的 *NPP* 为  $(17.61 \pm 2.46) \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ , 而粮食产量仅为  $(2.53 \pm 0.70) \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ , 其生物干物质生产潜力为  $(15.08 \pm 2.76) \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ , 显示了西双版纳地区生物干物质具有很大的生产潜力。

表 1 西双版纳气候因子和 *NPP* 及粮食产量

Tab.1 the factor of climate and *NPP* and the foodstuff yield in Xishuangbanna

项 目	$Q/$ [ $\text{kJ} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ ]	$Ta/$ $^{\circ}\text{C}$	$R/$ mm	$NPP/$ [ $\text{t} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ ]	辐射利用率/ %	实际产量/ [ $\text{t} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ ]	潜在生产力/ [ $\text{t} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ ]
均 值	539.3	22.2	1 148.7	17.61	64.51	2.53	15.08
均方差	48.7	0.47	150.74	2.46	9.62	0.70	2.76

#### 4 结论

西双版纳自然植被净第一性生产力(*NPP*)随该地区年总辐射( $Q$ )和年降水量( $R$ )的变化而变化, 其中年降水量是决定该地区 *NPP* 的关键因子, 总辐射的作用在较干年比正常年份或湿润年分突出, 而西双版纳由于地理位置纬度较低, 属于热带地区, 40 年来的年平均温度( $Ta$ )变化较小, 对该地区 *NPP* 的影响较弱。另外, 通过对西双版纳粮食产量和 *NPP* 的比较分析, 得知由于西双版纳地处边疆, 生产力水平低下, 自然资源的可利用潜力仍十分丰富, 具有较大的发展潜力。

#### [参考文献]

- [1] 李恩. 生物圈的第一生产力[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [2] UCHIJIMA Z, SEINO H. Agroclimatic Evaluation of Net Primary Productivity of Natural Vegetations (1) Chikugo Model for Evaluation of Net Primary Productivity[J]. Agr. Met, 1985, 40(4): 343-352.
- [3] 傅抱璞, 翁笃鸣, 虞静明, 等. 小气候学[M]. 北京: 气象出版社, 1994.
- [4] 云南省统计局. 云南统计年鉴 1980-1999[M]. 北京: 中国统计出版社, 1980-1999.
- [5] 西双版纳傣族自治州地方志编纂委员会. 西双版纳傣族自治州志(中册)[M]. 北京: 新华出版社, 2001.
- [6] 方精云, 唐艳鸿, 林俊达, 等. 全球生态学——气候变化与生态效应[M]. 北京: 高等教育出版社, 施普林格出版社, 2000.