

文章编号: 0375-5444 (2000) 01-0036-10

中国陆地植被净第一性生产力 及季节变化研究

孙 睿, 朱启疆

(北京师范大学资源与环境科学系, 北京 100875)

摘要: 利用植被指数与植被吸收的光合有效辐射比例之间的线性关系, 由 1992 年 4 月~ 1993 年 3 月 12 个月的 1 km AVHRR NDVI 资料及同期地面气象资料确定地表植被吸收的光合有效辐射, 然后由光能利用率得到植被净第一性生产力 (NPP)。为了更准确计算 NPP, 本文还考虑了温度及土壤水分条件对光能利用率的影响, 最后得到我国陆地植被年 NPP 分布图, 并对中国陆地植被净第一性生产力分布情况的季节变化及不同植被类型的 NPP 季节变化进行了初步研究。结果表明, 我国 NPP 的分布主要受水分条件的影响, 呈从东南到西北递减的趋势, 全国年总净第一性生产力约为 $2.645 \times 10^9 \text{ tC}$ 。

关键词: 遥感; 植被; 净第一性生产力; NPP 模型; 季节变化

中图分类号: X87; P935.1; Q948 **文献标识码:** A

1 引言

植被作为陆地生态系统中的重要组分与核心环节, 在地表与大气之间能量、物质与动量交换中扮演着重要角色, 植被净第一性生产力 (Net Primary Productivity, 简称 NPP, 指绿色植物在单位时间、单位面积上由光合作用所产生的有机物质总量中扣除自养呼吸后的剩余部分。) 作为表征植被活动的关键变量, 在全球碳平衡中扮演着重要作用, 准确估计 NPP 有助于了解全球碳循环。NPP 也是陆地生态系统中物质与能量运转研究的重要环节, 其研究将为合理开发、利用自然资源提供科学依据。

当前, 大范围陆地植被净第一性生产力主要以模型估算为主。根据模型的难易程度、对各种调控因子的侧重点及对 NPP 调控机理的解释, 可将现有模型分为三类: 气候统计模型、过程模型和光能利用率模型。气候统计模型通过建立 NPP 与地面气候资料 (如年降水量、年平均温度及年蒸散量等) 的统计关系来估计 NPP, 如 Miam i 模型和 Thornthwaite Memorial 模型^[1]等。过程模型则根据植物生理、生态学原理来研究植物生产力, 时间尺度都比较短,

收稿日期: 1999-07-12; 修订日期: 1999-09-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (49871055); 国家自然科学基金重大项目 (39990490); 国家攀登计划 (95-预-38) [Foundation Item: the National Natural Science Foundation of China, No. 49871055 & the major program of National Natural Science Foundation of China, No. 39990490 & the key- important basic research project of China, No. 95-Y-38]

作者简介: 孙睿 (1970-), 男, 1998 年毕业于北京师范大学资源与环境科学系, 博士, 讲师, 主要从事植被遥感研究。E-mail: rui_sun@263.net

通常以一天或小于一天作为模拟步长, 如 BEPS^[2]、DEMETER^[3]、FOREST-BGC^[4] 等模型。过程模型比较复杂, 参数比较多, 由于当前缺乏大多数生态系统的参数, 并且一些随物候期变化的变量的定量化也很困难, 所以须人为指定某些参数或对模型进行简化。

遥感技术的发展, 从多时相、多波段遥感信息可以提取地表覆盖状况、植被所吸收的光合有效辐射等估算地表 NPP 所必须的植被参数及环境变量, 这为研究陆地植被 NPP 的分布、季节变化及年际间的变化提供了强有力的手段。尤其是 NOAA 卫星的 AVHRR 传感器, 观测范围广, 对地观测重复性好, 使得大范围地表植被生产力的监测成为可能。其中比值植被指数 VI ($VI = NIR / VIS$, NIR 表示近红外波段的反射率, VIS 表示可见光或红光波段的反射率) 和归一化差值植被指数 $NDVI$ [$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$] 可以确定植被对入射光合有效辐射的吸收比例 ($FPAR$)^[5~7]。光能利用率模型就是由植被指数来确定 $FPAR$, 并通过光能利用率获得植被干物质的增长。由于光能利用率模型形式简单, 且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^[5~7]。另外, 遥感数据现已被用于过程模型中, 如 BEPS 模型^[2]和 SB2 模型^[8]中就用遥感资料确定植被叶面积指数 (LAI)。

我国 NPP 的研究主要是利用气候统计模型, 由地面气候资料来估计点上 NPP, 然后再通过插值得到面上分布^[9~11]。这种方法没有结合实际的地表植被类型, 以点代面, 反映的 NPP 只是一种趋势或潜在的 NPP, 与地表实际状况有相当差异。因而寻求一种可以很好地反映地表真实状况的方法对 NPP 进行定量估计, 已刻不容缓。本文的目的就是建立基于遥感信息及地面气候资料的 NPP 模型, 并以 1992 年为例, 利用 AVHRR NDVI 资料和地面气候资料对我国陆地植被 NPP 及季节变化进行研究。

2 数据来源及预处理

所采用的数据包括 1992 年 4 月~1993 年 3 月 1 km 分辨率的月 AVHRR NDVI 数据以及由其进行分类得到的全国植被类型图、1:1400 万《中国土壤质地图》^[12]、全国 658 个气象站点的月气象资料。其中 NDVI 资料来自美国地质调查局 (USGS) 地球资源观测系统数据中心 (EROS-EDC) 的全球 1 km × 1 km 分辨率 NOAA-AVHRR NDVI 数据集^[13], 图象大小为 4900 × 4200 个像元, 投影为兰勃特等积方位投影。

计算 NPP 需要栅格化的土壤质地图和气象要素图。因此首先数字化《中国土壤质地图》, 对不同土壤质地赋以不同的值, 然后用 ARC/INFO 软件经过投影转换, 并将其转换为 1 km × 1 km 分辨率的栅格图。所采用的气象数据包括 1992 年 4 月~1993 年 3 月全国 658 个气象站点月降水量、月平均气温、风速、水汽压及日照百分率。为了得到栅格化的气象要素图, 首先用 ARC/INFO 软件将各站点经纬度投影转换为兰勃特等积方位投影下的坐标, 经转换得到对应于 NDVI 图象的气象站点坐标, 然后采用 Kriging 插值方法插值获得每月 1 km 网格内的气象要素栅格图。

3 模型简介

光能利用率模型中植被 NPP 是由植被所吸收的光合有效辐射与光能转化率来计算的。

Prince et al 等人的研究表明, 在计算时不仅要考虑环境因子对干物质生产的影响, 还要考虑植物呼吸作用的影响, 总第一性生产力的最大光能利用率相对于净第一性生产力更加稳定, 它随气候条件、植物类型及土壤水分条件的变化很小^[7]。因此本文在计算 NPP 时采用将总第一性生产力和呼吸作用分开, 采用光能利用率模型计算总第一性生产力, 同时考虑了温度、土壤水分及呼吸作用的影响。具体形式如下:

$$NPP = GPP - R \tag{3-1}$$

式中 NPP 、 GPP 、 R 分别表示净第一性生产力、总第一性生产力和呼吸消耗量 $g/(cm^2 \cdot month)$ 。

GPP 的计算模型如下:

$$GPP = \epsilon_g^* \times f_1(T) \times f_2(\beta) \times FPAR \times PAR \tag{3-2}$$

式中 ϵ_g^* 表示最大光能利用率, $f_1(T)$ 和 $f_2(\beta)$ 分别表示温度和土壤水分对 ϵ_g^* 的影响, $FPAR$ 表示植被所吸收的光合有效辐射比例, PAR 表示到达地表的光合有效辐射。 PAR 通过气候学方法确定, $FPAR$ 则由植被指数确定^[14]:

$$FPAR = \frac{(VI - VI_{min})(FPAR_{max} - FPAR_{min})}{VI_{max} - VI_{min}} + FPAR_{min} \tag{3-3}$$

式中 $FPAR_{max} = 0.950$, $FPAR_{min} = 0.001$, VI_{max} 和 VI_{min} 表示 i 植被类型 $FPAR$ 达到最大值和最小值时的比值植被指数 (VI), $VI = (1 + NDVI) / (1 - NDVI)$ 。

NPP 模型结构框图如图 1 所示, 包括总第一性生产力、呼吸作用、辐射和土壤水分四个子模型。模型首先通过辐射子模型由气象站经纬度、海拔高度、月平均日照百分率及绝对湿度计算到达地表的辐射平衡和光合有效辐射 (PAR)。将土壤质地、月平均日照百分率、平均风速、月降水量及由辐射子模型所输出的地表辐射平衡输入土壤水分子模型, 计算蒸发比。同时由月 $NDVI$ 图象计算植被所吸收的光合有效辐射比例 ($FPAR$)。然后将各子

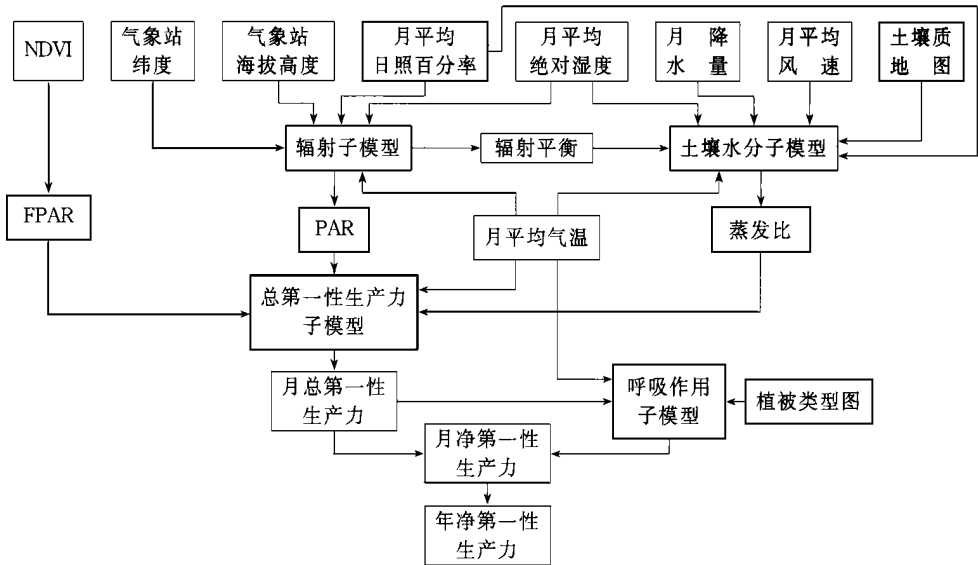


图 1 NPP 模型结构框图

Fig. 1 The diagram of net primary productivity model

模型的输出结果, 包括 PAR 、蒸发比、 $FPAR$ 以及月平均气温作为总第一性生产力子模型的输入变量, 计算月总第一性生产力。接着将植被类型、月平均气温和月总第一性生产力输入呼吸作用子模型, 计算月呼吸消耗量。最后, 由总第一性生产力和月呼吸消耗量计算月净第一性生产力, 并通过累加获得年净第一性生产力。模型的具体描述见文献 [15]。

4 结果分析

4.1 中国陆地植被年净第一性生产力的分布

在所建立的NPP 模型及遥感植被分类图基础上, 由 1992 年 4 月~ 1993 年 3 月 1 km 分辨率的月 AVHRR NDVI 资料和地面常规气象资料对我国陆地植被的年NPP 进行估算, 同时用同期年降水量与年平均温度资料, 由M iam i 模型^[1]计算我国NPP 的分布, 以作比较。

计算结果表明, 全国陆地植被年总NPP 为 $2.645 \times 10^9 \text{ tC}$, 而由M iam i 模型所估算的NPP 为 $7.438 \times 10^9 \text{ tDW}$, 将干物重与碳含量之间的转换系数用近似值 0.5, 则M iam i 模型计算结果为 $3.719 \times 10^9 \text{ tC}$ 。本文计算结果要比M iam i 模型计算结果小 28.9%, 考虑到M iam i 模型在计算时未考虑地表植被覆盖情况, 所估算的是潜在NPP, 而本文在遥感数据及地表植被图的基础上计算, 反映的是现实NPP, 计算值比M iam i 模型的计算值偏小是正常的。

我国植被NPP 的分布见图 2。从图可见, 我国植被NPP 的分布主要受水分条件的限制, 总体呈从东南到西北递减趋势。亚热带地区自然植被的NPP 基本上在 $500 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$ 以上, 温带地区的自然植被除了部分森林植被的NPP 大于 $500 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$ 外, 基本上小

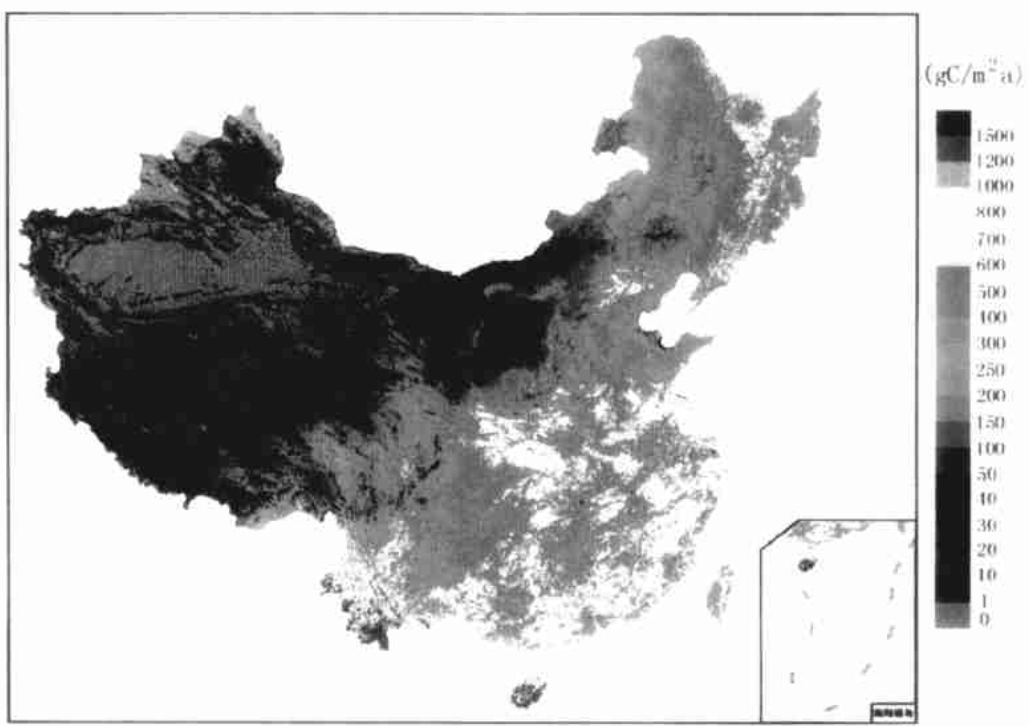


图 2 中国陆地植被NPP 分布图

Fig. 2 The distribution of annual net primary productivity in China

于 500。海南岛、台湾东部、云南西南部河谷地带及东南沿海的部分丘陵山地, 水热条件好, 植被以热带雨林、季雨林及亚热带常绿阔叶林为主, 年NPP 在 1 000 g/(cm² · a) 以上。其中台湾最南端、海南岛东南部和云南西南部等地NPP 最大, 超过 1 500 g/(cm² · a)。

从图 2 也可看出, 在江淮以南, 平原地区的NPP 大多在 300~ 500 g/(cm² · a) 之间, 要比周围山地丘陵低, 这是由于农作物的生长季比较短, 且冠层不如森林植被茂盛, 因此NPP 比较小。在干旱半干旱地区, NPP 基本上小于 100 g/(cm² · a), 荒漠地区植被稀疏, NPP 很小, 基本上在 30 g/(cm² · a) 以下, 甚至为 0。

由改进的光能利用率模型及M iam i 模型计算得到的不同植被类型NPP 见表 1。

表 1 不同类型植被的年净第一性生产力 (单位: g/(cm² · a))

Tab. 1 Annual net primary productivity of different vegetation types (g/(cm² · a))

植被类型	平均NPP	标准偏差	M iam i 模型	实测值
落叶针叶林	419.86	83.92	281.36	150~ 500 ^[16]
针阔叶混交林	402.89	79.53	402.20	250~ 1 000 ^[16]
落叶阔叶林	459.70	209.84	440.68	250~ 700 ^[16]
常绿针叶林	529.40	227.08	688.59	160~ 680 ^[16]
常绿阔叶林	971.90	406.60	751.15	910~ 1 340 ^[16]
落叶灌丛	290.17	183.72	316.22	
常绿灌丛	555.42	203.54	778.98	
草 原	116.03	105.72	277.43	66~ 118 ^[17]
草 甸	191.41	150.37	312.50	150~ 240 ^[18, 19]
一年一熟作物	313.31	128.19	372.39	
一年二熟作物	396.36	185.49	497.89	
单(双)季稻连作喜凉作物	496.87	123.35	783.34	
双季稻连作喜温作物	574.56	176.96	891.49	
荒 漠	15.74	16.56	118.16	

注: 表中M iam i 模型的计算结果及实测值是以干物重为单位的, 在将干物重转换为碳量时采用近似系数 0.5。

从表 1 可看出, 本文所计算的结果更接近我国的实际情况。M iam i 模型的计算结果与本文的计算结果相比较, 森林植被中常绿阔叶林的NPP 要比本文的计算结果小, 落叶针叶林的计算结果差别最大, M iam i 模型的计算结果要比本文的计算结果低 30% 以上; 其它植被类型的NPP, 都是M iam i 模型的计算偏高, 其中荒漠的偏差最大, 要比本文的结果高出 6 倍以上。由于M iam i 模型是由全球不同植被类型NPP 实测值结合地面气候资料来推得NPP 模型, 与我国实际情况有较大差异。

4.2 中国陆地植被净第一性生产力的季节变化

4.2.1 中国陆地植被净第一性生产力的季节变化 由 1992 年 4 月~ 1993 年 3 月的 1 km 分辨率 AVHRR NDVI 资料和气候资料对我国 1992 年 4 月~ 1993 年 3 月每月净第一性生产力进行计算, 结果如图 3 所示。从图可见, 我国陆地植被净第一性生产力的季节变化与我国气温及地表太阳辐射的季节变化基本相同, 在夏季 6~ 8 月份气温及地表太阳辐射达到最大值, 净第一性生产力也达到最大值, 以后随着太阳的南移, 气温及地表太阳辐射减小, 到冬季 12 月~ 2 月, 气温及地表太阳辐射降到最低, 净第一性生产力也下降到最小值。

以 1 月份和 7 月份为例, 1 月份是我国气温最低、太阳辐射量最少的季节, NPP 也是最

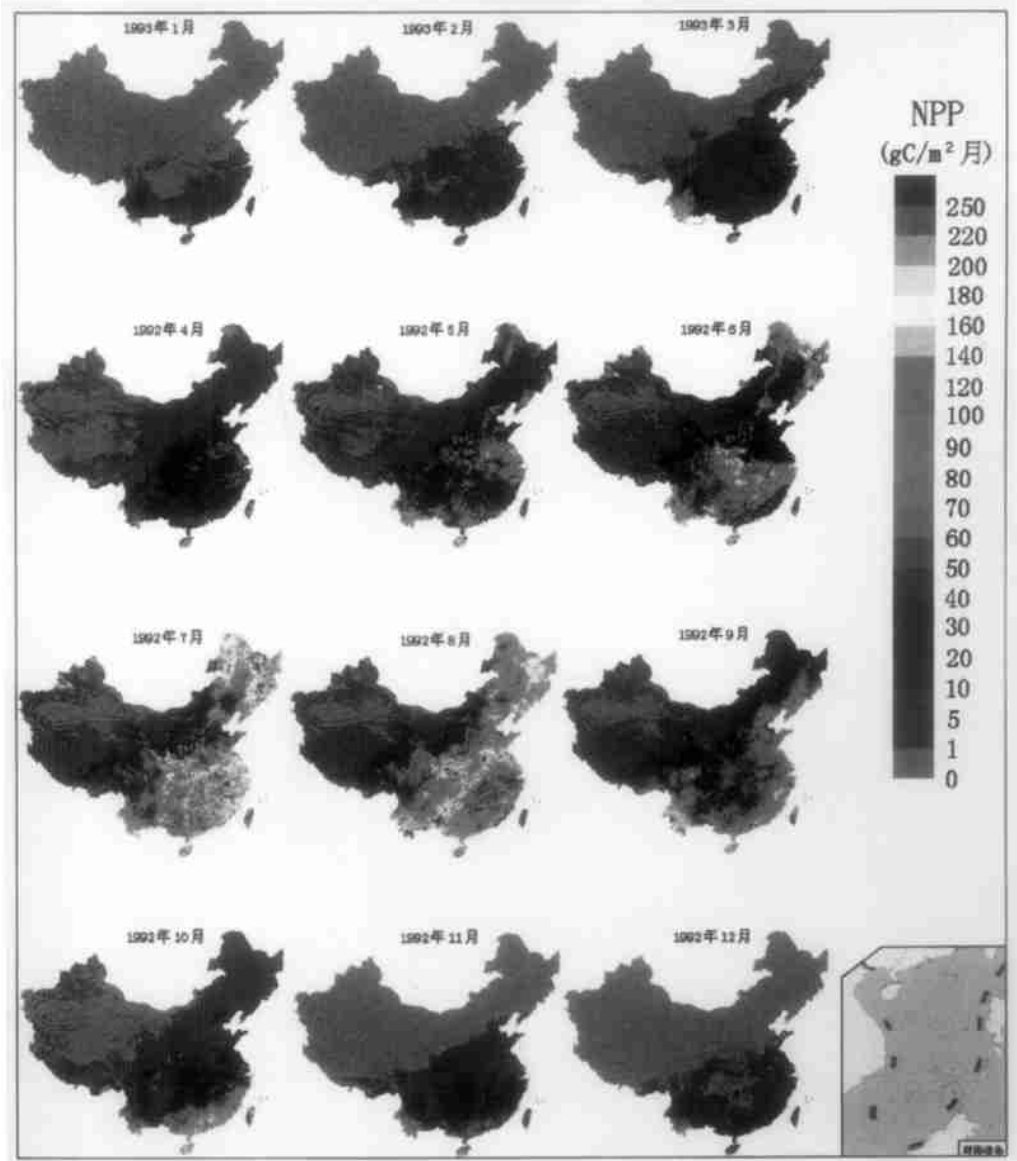


图3 中国植被净第一性生产力季节变化图

Fig. 3 The seasonal change of monthly NPP in China

低的一个月。除了在华南、华东东部沿海及西南部分地区植物继续生长外, 大部分地方植物停止生长, NPP 都等于 0。只有云南南部、海南的最南部 NPP 大于 50 g/cm^2 。7 月份我国大部分地区气温达到最大值, NPP 也达到最大值。只有部分荒漠地区和无植被地段的 NPP 小于 10 g/cm^2 。其余地区除了内蒙古高原中东部、科尔沁沙地、塔里木盆地周围及青藏高原东南部等地 NPP 在 $10\sim 50\text{ g/cm}^2$ 之间, 东北平原中部、胶东半岛、祁连山及河套平原、云贵高原部分地区等地的 NPP 在 $50\sim 100\text{ g/cm}^2$ 之间外, NPP 都大于 100 g/cm^2 , 部分地区 NPP 升至 200 g/cm^2 以上。

从图 3 还可看出, NPP 低值和高值区随季节而变化。1 月份长江以北地区, 植被基本上停止生长, NPP 为 0, 到 2 月 NPP 等于 0 的等值线北移至胶东半岛—黄河—渭河一带, 3 月份又向北推到辽东半岛—太行山—川西高原一线, 4 月份除了青藏高原的高寒地区、西北地区广大荒漠地区的 NPP 为 0 外, NPP 都大于 0; 7、8 月全国 NPP 达到最大值, 只有沙漠地区没有植被生长, NPP 为 0; 9 月后 NPP 明显减小, 0 值等值线又逐渐南下。而高值区 1~ 3 月位于华南沿海及云南南部地区, 4、5 月则移至江淮地区, 6 月份又位于小兴安岭、长白山及我国南部地区, NPP 在 $100\sim 200\text{ g/cm}^2$ 以上, 黄淮平原及长江中下游平原地区由于前茬农作收获, 后茬农作没有长起来, NPP 值反而出现低值区, 由 5 月份的 100 g/cm^2 以上降至 50 g/cm^2 以下, 7、8 月份我国东部大部分地区 NPP 在 100 g/cm^2 以上, 是一个高值区, 9 月以后 NPP 高值区又逐渐向南方移动。

4.2.2 不同类型植被净第一性生产力季节变化分析 在月 NPP 计算基础上, 利用植被类型图, 统计不同植被类型的月平均 NPP, 并绘出不同植被类型 NPP 的季节变化曲线 (如图 4)。从图可见, 除了部分农业植被外, 所有植被类型的 NPP 季节变化曲线都呈单峰曲线, 在

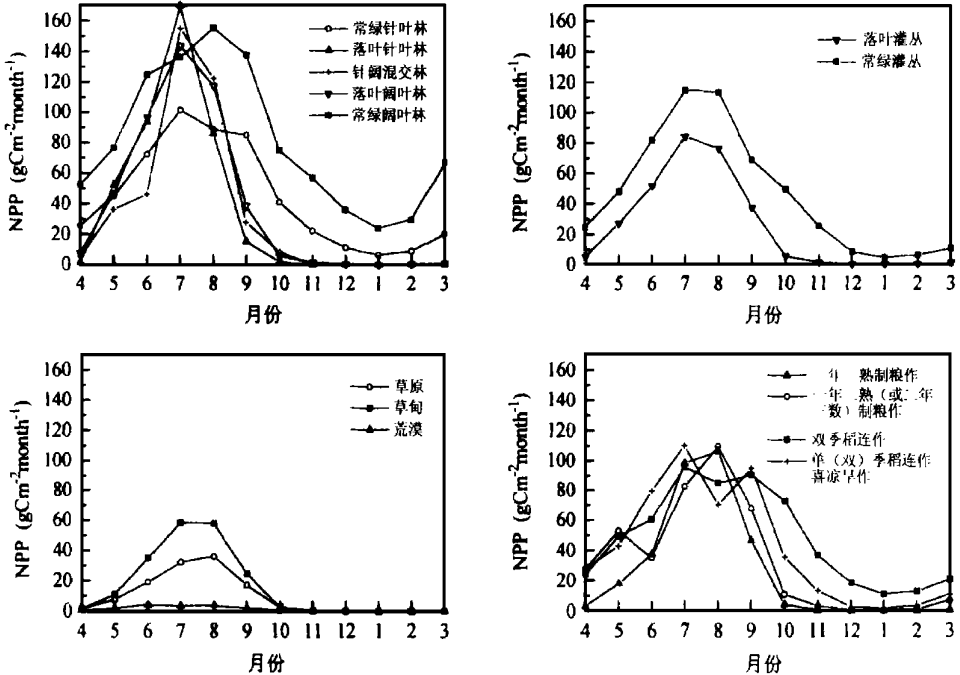


图 4 各植被类型净第一性生产力季节变化图

Fig. 4 Seasonal change of NPP for different vegetation

夏季NPP 达到最大值, 冬季则降至最低值。同时也可看出, 不同植被类型, NPP 的季节变化幅度有差别, 森林植被的变化幅度最大, 其次为灌丛、农业植被、草地, 荒漠的变化幅度最小。

在森林植被中, 落叶针叶林的生长季最短, NPP 变化最剧烈, 11 月~ 3 月植物停止生长, NPP 为 0, 4 月和 10 月 NPP 仍很小, 几乎为 0, 7 月达到最大值 170 g/cm^2 , 8 月由于气温的下降, NPP 又急剧下降。常绿针叶林 NPP 的季节变化幅度最小, 7 月最大值为 102 g/cm^2 , 1 月最小值 6.7 g/cm^2 , 变化幅度为 95 g/cm^2 。常绿阔叶林由于受 6、7 月降水的影响, 阴雨天多, 到达地表的太阳辐射比较小, NPP 并没有达到最大值, 8 月降水相对减少, 但土壤水充足, 加上光照条件比 6、7 月充分, 所以 NPP 达到最大值, 为 155 g/cm^2 左右。

落叶灌丛的 NPP 比较小, 生长季是 4~ 10 月, 7 月达到最大值 84.2 g/cm^2 。常绿灌丛所处地带由于水热条件比较好, NPP 要比落叶灌丛的大, 7、8 月最大值接近 120 g/cm^2 。

草原植被比较矮小, NPP 比较小, 8 月最大值仅为 35.9 g/cm^2 , 草原的最大值出现于 8 月, 而不是热量条件最好的 7 月, 是由于该地区降水主要集中于 7 月底到 8 月初, 此时植被长势最好; 11 月至次年 3 月草原还没有返青, NPP 为 0。草甸由于处于比较潮湿的生境, NPP 值要比草原的高, 7、8 月份 NPP 最大值为 58 g/cm^2 。荒漠由于受水分的限制, 植被特别稀疏, NPP 也最低, 即使在夏季 NPP 也在 5 g/cm^2 以下。

在农作物种植区, 一年一熟作物的 NPP 季节变化曲线是典型的单峰曲线, 其生长季在 4 月至 10 月, 7 月和 8 月 NPP 达到最大值, 达到 $80 \sim 100 \text{ g/cm}^2$ 。一年两熟或两年三熟制作物的净第一性生产力变化曲线为一双峰曲线, 最高峰在 8 月, 次高峰在 5 月。这是由于 8 月, 夏作进入生长旺期, 此时水热及光照条件是该地区配合最好的季节, NPP 最大, 平均 NPP 达到 110 g/cm^2 ; 5 月的次高峰则代表冬作生长最旺盛的时期, 由于作物冠层没有夏作高大茂密, 因而 NPP 比较小, 平均在 50 g/cm^2 左右。6 月是冬作收获后夏作播种的时期, 地表覆盖度低, 因而 NPP 比较小。10 月随着气温的下降, NPP 迅速下降。在 12 月到次年 2 月植物停止生长, NPP 为 0。

5 结论与讨论

在对光能利用率模型改进的基础上, 用 1 km 分辨率的 AVHRR NDVI 数据对我国陆地植被的净第一性生产力分布及季节变化进行了研究。通过本文的研究, 得出如下结论。

(1) 基于卫星遥感数据对地表 NPP 的估算, 避免了传统的气候模型以点代面的缺点, 更具有科学性, 使得所估算的 NPP 更加接近地表真实情况。

(2) 必须实时更新植被图。在 NPP 研究中, 须确定不同植被类型的生理生态参数, 为了更准确地估计 NPP, 必须通过遥感资料实时更新地表植被类型图, 以得到能够很好地反映地表真实情况的植被类型图。

(3) 通过改进的模型, 用全分辨率的 AVHRR 数据对我国陆地植被的月及年净第一性生产力进行了定量估算, 并给出了全国范围内各植被类型的 NPP 值。计算结果, 我国陆地植被的年总净第一性生产力为 $2.645 \times 10^9 \text{ tC}$ 。

(4) NPP 的分布规律。我国 NPP 的分布特点是东南地区高, 西北地区低, 海南岛、云南西南部等地的 NPP 最大。亚热带大部分地区 NPP 在 $500 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$ 以上, 而在荒漠

地区年NPP 小于 $30 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$ 。在同一地区又有山地森林植被的NPP 高, 平原地区农业植被的NPP 低等特点。

在估算NPP 时, 由于所需的光合有效辐射、温度、土壤水分采用地面观测点常规气象资料或由这些资料用气候学方法计算并插值得到, 在这个从点到面的过程中, 不可避免地产生由于尺度转换所造成的误差, 为了减少这种误差, 有必要建立不同的算法由遥感资料反演地表温度及土壤水分等参数, 提高模型估算的精度。

参考文献 (References)

- [1] Lieth H, Whittaker R H. Primary Productivity of the Biosphere[M]. New York: Springer-Verlag, 1975
- [2] Liu J, Chen JM, Cihlar J et al. A process-based boreal ecosystem productivity simulator using remote sensing inputs[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, **62**(2): 158~175
- [3] Foley JA. Net primary productivity in the terrestrial biosphere: the application of a global model[J]. *J. Geophys Res*, 1994, **99**(D10): 20773~20783
- [4] Running SW, Coughlan JC. A general model of ecosystem processes for regional applications I: hydrologic balance, canopy gas exchange and primary production processes[J]. *Ecological Modelling*, 1988, **42**: 125~154
- [5] Potter CS, Randerson JT et al. Terrestrial ecosystem production: a process model based on global satellite and surface data[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1993, **7**(4): 811~841
- [6] Ruimy A, Saugier B. Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotely sensed data[J]. *J. Geophys Res*, 1994, **99**(D3): 5263~5283
- [7] Prince SD, Goward SN. Global primary production: a remote sensing approach[J]. *Journal of Biogeography*, 1995, **22**: 815~835
- [8] Sellers PJ, Los SO, Tucker CJ et al. A revised land surface parameterization (SB2) for atmospheric GCM part II: the generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from satellite data[J]. *J. Climate*, 1996, **9**: 706~737
- [9] Chen Guonan. Preliminary study on calculation of primary production of ecosystem in China with application of minimum model[J]. *Journal of Natural Resources*, 1987, **2**(3): 270~278 (In Chinese) [陈国南. 用迈尔模型测算我国生物生产量的初步尝试[J]. 自然资源学报, 1987, **2**(3): 270~278]
- [10] Zhu Zhihui. A model for estimating net primary productivity of natural vegetation[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1993, **38**(15): 1422~1426 (In Chinese) [朱志辉. 自然植被净第一性生产力估计模型[J]. 科学通报, 1993, **38**(15): 1422~1426]
- [11] Zhou Guangsheng, Zhang Xinshi. Study on NPP of natural vegetation in China under global climate change[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, **20**(1): 11~19 (In Chinese) [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[J]. 植物生态学报, 1996, **20**(1): 11~19]
- [12] Deng Shiqin. Map of Soil Texture of China[A]. In: Institute of Soil Science, Academia Sinica ed. The Soil Atlas of China[C]. Beijing: Cartographic Publishing House, 1986. 23~24 (In Chinese) [邓时琴. 中国土壤质地图[A]. 见: 中国科学院南京土壤研究所主编. 中国土壤图集[C]. 北京: 地图出版社, 1986. 23~24]
- [13] Eidenshink JC, Faundeen J. L. The 1 km AVHRR global land dataset: first stages in implementation[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, **15**: 3443~3462
- [14] Sellers PJ, Tucker CJ, Collatz GJ et al. A global 1° by 1° NDVI data set for climate studies part 2: the generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from the NDVI[J]. *Int. J. Remote Sensing*, 1994, **15**(17): 3519~3545
- [15] Sun Rui, Zhu Qijiang. A remote sensing based net primary production model and the distribution of net primary production in China[J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 1998, **34**: 132~137 (In Chinese) [孙睿, 朱启疆. 植被净第一性生产力模型及中国净第一性生产力的分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 1998, **34**: 132~137]
- [16] Liu Shirong, Xu Deying, Wang Bing. Impacts of climate change on productivity of forests in China I: geographic distribution of actual productivity of forests in China[J]. *Forest Research*, 1993, **6**(6): 634~642 (In Chinese) [刘世荣, 徐德应, 王兵. 气候变化对中国森林生产力的影响 I. 中国森林现实生产力的特征及地理分布格局[J]. 林业科学研究, 1993, **6**(6): 634~642]
- [17] Wang Yifeng. The biomass and productivity of typical steppe in inner Mongolia[J]. *Plants*, 1993(4): 10~11 (In Chinese) [王义]

- 凤 内蒙古典型草原的生物量与生产力[J]. 植物杂志, 1993(4): 10~ 11.]
- [18] Hu Zizhi, Sun Jixiong, Zhang Yinsheng et al. Studies on primary productivity in Tianzhu alpine polygonum viviparum meadow I: biomass dynamics and conversion efficiency for solar radiation[J]. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1988, 12(2): 123~ 133. (In Chinese) [胡自治, 孙吉雄, 张映生等. 天祝高寒珠芽蓼草甸初级生产力的研究 I: 生物量动态及光能转化率[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1988, 12(2): 123~ 133.]
- [19] Yang Futun, Wang Qiji, Shi Shunhai. The allocation of the biomass and energy in kobresia humilis meadow, haibei district, Qinghai province[J]. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1987, 11(2): 106~ 112. (In Chinese) [杨福囤, 王启基, 史顺海. 青海海北地区矮高草草甸生物量和能量的分配[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1987, 11(2): 106~ 112.]

Distribution and Seasonal Change of Net Primary Productivity in China from April, 1992 to March, 1993

SUN Rui, Zhu Qirjiang

(Department of Resource and Environment Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875)

Abstract: It is significant to estimate terrestrial net primary productivity (NPP) accurately not only for global change research, but also for natural resources management to achieve sustainable development. The estimation of NPP by climate data is only a potential NPP rather than true NPP. But remote sensing data can describe large scale distribution of plant resources better. So, 1 km AVHRR NDVI data was used adopted here to estimate the distribution of NPP in China.

First, the fraction of absorbed photosynthetically active radiation (FPAR) by vegetation is derived from NDVI data using the linear relationship between FPAR and vegetation index. The incident PAR was estimated by climate data. Then NPP was calculated with absorbed PAR and energy efficiency ϵ^* . In order to estimate NPP more accurate, the effects of temperature, soil water content and plant respiration were also considered in the model. The model can be described as below:

$$NPP = \epsilon^* \times f_1(T) \times f_2(\beta) \times FPAR \times PAR - R$$

in which $f_1(T)$ and $f_2(\beta)$ mean the temperature and soil water content effects on photosynthesis, R means plant respiration including maintenance respiration and growth respiration.

Monthly and annual net primary productivity in China was computed by monthly 1km AVHRR NDVI data, climate data between April, 1992 and March, 1993, vegetation type map and soil texture map. The results gained were compared with ground-observation and Miamimodel results. It shows that the results using remote sensing data are closer to truth. Total annual NPP in China is 2.645×10^9 tC. The distribution of NPP in China is mainly effected by precipitation and has the trend of decreasing from south-east to north-west. Finally, the seasonal change of NPP was investigated on the basis of monthly NPP.

Key words: remote sensing; net primary productivity; vegetation; model; seasonal change