

# 基于 GIS 和 RS 的中国植被光利用率估算

朱文泉<sup>1</sup> 陈云浩<sup>1</sup> 潘耀忠<sup>1</sup> 李京<sup>1</sup>

(1 北京师范大学资源学院环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京新街口外大街 19 号, 100875)

**摘要:** 基于 GIS 和 RS 介绍了利用地面气象数据和卫星遥感数据进行植被光利用率计算的方法, 并以 1999 年为例, 根据不同植被类型所对应的最大光利用率, 研究了中国植被的光利用率及其时空分布。结果表明, 中国植被 1999 年平均光利用率的取值范围在  $0.06 \sim 1.07 \text{ gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$  之间, 且标准差较大。

**关键词:** 光利用率; NDVI; GIS; RS

中图法分类号: P208; TP751

植被净初级生产力(NPP)研究是全球变化与陆地生态系统的根本内容之一。NPP 作为地表碳循环的重要组成部分, 不仅直接反映了植被群落在自然环境条件下的生产能力, 表征陆地生态系统的质量状况, 而且是判定生态系统碳汇和调节生态过程的主要因子<sup>[1]</sup>, 在全球变化及碳平衡中起着重要的作用。

NPP 的研究方法很多, 有些学者从不同的角度对 NPP 的估算进行了深入而细致的研究, 并取得了丰硕成果。但在区域或全球尺度上, 人们还无法直接和全面地测量 NPP, 因此, 利用模型估算 NPP 已成为一种重要而被广泛接受的研究方法<sup>[2, 3]</sup>。随着遥感和计算机技术的发展, 利用 RS 和 GIS 技术进行 NPP 的估算已成为一种全新的手段, 使区域及全球尺度的 NPP 估算成为可能, 而对植被光利用率  $\epsilon$  的估算又是估测 NPP 的一条重要途径<sup>[4]</sup>。

光利用率是估算 NPP 的基础。Heimann 等是最先利用光利用率模型估算 NPP 的, 他在其模型中假设光利用率不随时间和地表覆盖状况而变化。实际上, 不同植被的光利用率  $\epsilon$  的差异很大, 人们对它的大小一直存在争议, 不同学者在不同模型中的取值也不同。在没有气候和其他因素的限制时, 光利用率  $\epsilon$  的上限为  $3.5 \text{ gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$ <sup>[5]</sup>, 一些草本作物和其他植被的光利用率在  $0.09 \sim 2.16 \text{ gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$  之间<sup>[6\sim 9]</sup>。由于光利用率受气温、

水分、土壤、营养、疾病、个体发育、基因差异和植物维持与生长的不同能量分配等因素的影响, 它在全球范围内被视为一个常数会引起很大的误差<sup>[10, 11]</sup>。因此, 利用光利用率模型来对植被 NPP 进行准确的估测, 关键在于对光利用率  $\epsilon$  的有效估算。

目前, 我国已有部分学者利用 RS 和 GIS 技术对植被的光利用率和陆地 NPP 进行研究。彭少麟等<sup>[12]</sup> 利用地面气象数据和卫星遥感数据研究了广东植被的光利用率及其时空分布, 认为 Potter 等<sup>[10, 13]</sup> 提出和使用的全球植被月最大光利用率  $0.389 \text{ gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$  对广东植被来讲偏低, 通过取月最大光利用率为  $1.25 \text{ gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$ , 得到广东植被的年平均光利用率介于  $0.69 \sim 1.05 \text{ gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$  之间; 朴世龙<sup>[14]</sup> 等利用 CASA 模型估算了我国 1997 年植被的 NPP 及其分布, 根据全球植被月最大光利用率  $0.389 \text{ gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$  来计算, 认为我国植被年平均光利用率的取值范围介于  $0.007 \sim 0.346 \text{ gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$  之间。

## 1 数据与方法

### 1.1 数据来源

本项目研究所利用的遥感数据为美国地球资源观测系统 (earth resource observation system, EROS) 数据中心的探路者数据库 (pathfinder data

sets)所提供的 NOAA/AVHRR 的 NDVI 数字影像。图像空间分辨率为  $8\text{km} \times 8\text{km}$ , 时间分辨率为 10d, 时间序列为 1999 年 1 月至 1999 年 12 月。气象数据来自中国国家气象局, 为 1999 年全国 376 个站点(排除了缺失及无效数据)每月的降水、平均温度及太阳净辐射数据。计算植被的光利用率需要栅格化的气象数据, 并从空间上与遥感数据相匹配。利用 GIS 的插值工具, 根据各气象站点的经纬度信息, 通过对气象数据进行 Kringing 插值, 获取像元大小与 NDVI 数据一致、投影相同的气象要素栅格图。植被图为 1 400 万的矢量格式的植被图<sup>[15]</sup> 以及基于 NOAA/AVHRR 和 Holdridge 的中国土地覆盖分类图<sup>[16]</sup>。

## 1.2 模型与方法

光利用率的估算流程如图 1 所示。Potter 等<sup>[13]</sup>认为, 在理想条件下的植被具有最大光利用率, 而在现实条件下的最大光利用率主要受温度和水分的影响, 其计算公式为:

$$\epsilon(x, t) = f_1(x, t)f_2(x, t)f_w(x, t)\epsilon_{\max} \quad (1)$$

式中,  $\epsilon(x, t)$  表示像元  $x$  在  $t$  月的实际光利用率;  $f_1(x, t)$  和  $f_2(x, t)$  表示温度对光利用率的影响;  $f_w(x, t)$  为水分胁迫影响系数, 反映水分条件的影响;  $\epsilon_{\max}$  是理想条件下的最大光利用率。

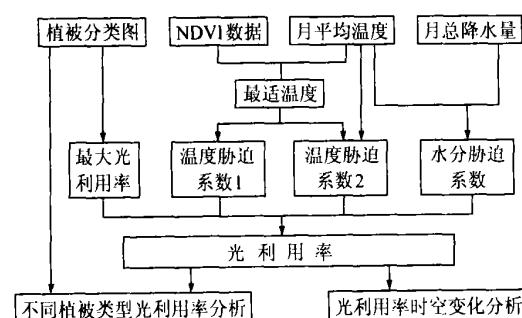


图 1 光利用率的估算流程图

Fig. 1 Steps to Estimate Light Utilization Efficiency

$f_1(x, t)$  反映在低温和高温时植物内在的生化作用对光合的限制而降低净第一性生产力<sup>[10-13]</sup>。公式为:

$$f_1(x, t) = 0.8 + 0.02 \times T_{\text{opt}}(x) - 0.0005 \times [T_{\text{opt}}(x)]^2 \quad (2)$$

式中,  $T_{\text{opt}}(x)$  为某一区域一年内 NDVI 值达到最高时的当月平均气温。许多研究表明, NDVI 的大小及其变化可以反映植物的生长状况, NDVI 达到最高时, 植物生长最快, 此时的气温可以在一定程度上代表植物生长的最适温度。

$f_2(x, t)$  表示环境温度从最适温度 ( $T_{\text{opt}}$ ) 向

高温和低温变化时植物光利用率逐渐变小的趋势<sup>[10-13]</sup>, 这是因为低温和高温时, 高的呼吸消耗必将降低光利用率<sup>[13]</sup>, 生长在偏离最适温度的条件下, 其光利用率也一定会降低。公式为:

$$f_2(x, t) = 1.184 / \{1 + \exp[0.2 \times (T_{\text{opt}}(x) - 10 - T(x, t))] \} \times 1 / \{1 + \exp[0.3 \times (-T_{\text{opt}}(x) - 10 + T(x, t))] \} \quad (3)$$

当某一月平均温度 ( $T(x, t)$ ) 比最适温度 ( $T_{\text{opt}}(x)$ ) 高 10 °C 或低 13 °C 时, 该月的  $f_2(x, t)$  值等于月平均温度 ( $T(x, t)$ ) 为最适温度 ( $T_{\text{opt}}(x)$ ) 时  $f_2(x, t)$  值的 1/2。

水分胁迫影响系数  $f_w(x, t)$  反映了植物所能利用的有效水分条件对光利用率的影响。随着环境中有效水分的增加,  $f_w(x, t)$  逐渐增大, 它的取值范围为 0.5(在极端干旱条件下)到 1(非常湿润条件下)。公式为:

$$f_w(x, t) = 0.5 + 0.5 \times E(x, t) / E_p(x, t) \quad (4)$$

式中,  $E(x, t)$  为区域实际蒸散量 (mm/月), 可根据周广胜和张新时<sup>[17]</sup> 建立的区域实际蒸散模型求取;  $E_p(x, t)$  (mm/月) 为区域潜在蒸散量, 可根据 Boucher<sup>[18, 19]</sup> 提出的互补关系求取:

$$E_p(x, t) = [E(x, t) + E_{p0}(x, t)] / 2 \quad (5)$$

式中,  $E_{p0}(x, t)$  为局地潜在蒸散量 (mm/月), 可由 Thornthwaite (1948) 提出的植被-气候关系模型的计算方法<sup>[20]</sup> 求算。

月最大光利用率  $\epsilon_{\max}$  的取值因不同的植被类型而有所不同, 本文利用 Running 等人<sup>[21]</sup> 根据生态生理过程模型 BIOME-BGC 对 10 种植被类型所模拟的结果, 它们的取值分别为常绿针叶林  $1.008 \text{gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$ 、常绿阔叶林  $1.259 \text{gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$ 、落叶针叶林  $1.103 \text{gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$ 、落叶阔叶林  $1.044 \text{gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$ 、混交林  $1.116 \text{gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$ 、落叶灌丛及稀树草原  $0.768 \text{gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$ 、灌木荒漠  $0.774 \text{gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$ 、矮林灌丛  $0.888 \text{gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$ 、草地  $0.608 \text{gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$ 、耕作植被  $0.604 \text{gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$ 。其他如城市、水体等生态系统取 CASA 模型所估算的全球平均最大光利用率  $0.389 \text{gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$ 。

以上所有图像处理和分析工作都是在 GIS 软件 ArcGIS8.2、遥感软件 Erdas imagine8.4 和统计软件 SPSS11.0 下实现的。

## 2 结果与讨论

### 2.1 最适温度的时空分布

由于最适温度是 NDVI 出现最大值时所对

应的月平均温度, 所以, 最适温度的时间分布其实就是  $NDVI_{max}$  出现的时间(见封三彩图 1)。 $NDVI_{max}$  多出现在 7~9 月份, 8 月最多, 占 34.6%; 余下依次为 7 月(18.7%)、9 月(13.8%)和 6 月(6.7%)。从植被分布的类型来看, 耕地的  $NDVI_{max}$  多出现在 7、8 月份; 草原的  $NDVI_{max}$  多出现在 8 月份; 全国大部分地区的常绿针叶林和常绿阔叶林的  $NDVI_{max}$  一般出现在 9 月份, 但西南的部分地区多出现在 11 月份; 落叶针叶林和落叶阔叶林的  $NDVI_{max}$  多出现在 6 月份。

全国最适温度的空间分布如封三彩图 2 所示。全国有一半以上的地区(51.7%)其最适温度在  $20^{\circ}\text{C}$  以上; 31.3% 的地区其最适温度在  $10^{\circ}\text{C}$ ~ $20^{\circ}\text{C}$  之间; 8.6% 的地区在  $0^{\circ}\text{C}$ ~ $10^{\circ}\text{C}$  之间。从最适温度的空间分布来看, 总体上是南方高于北方, 东部高于西部。如果沿  $106^{\circ}\text{E}$  划一条南北方向的剖线, 则剖线以东的大部分地区, 其最适温度均在  $20^{\circ}\text{C}$  以上; 陕西南部、云南南部及内蒙古北部有部分地区的最适温度在  $15^{\circ}\text{C}$ ~ $20^{\circ}\text{C}$  之间; 青藏高原大部分地区、南方的部分山区(如湖南和广东交界的五岭一带)以及黑龙江北部, 其最适温度在  $10^{\circ}\text{C}$ ~ $15^{\circ}\text{C}$  之间。

## 2.2 不同植被类型的光利用率 $\epsilon$

不同植被类型的光利用率如表 1 所示。在全

国范围内, 各植被类型的年平均光利用率介于  $0.196\sim0.701\text{gC}\cdot\text{MJ}^{-1}$  之间, 常绿阔叶林的年平均光利用率最大, 为  $0.701\text{gC}\cdot\text{MJ}^{-1}$ , 是该植被类型最大光利用率( $1.259\text{gC}\cdot\text{MJ}^{-1}$ )的 55.7%; 常绿针叶林的年平均光利用率为  $0.579\text{gC}\cdot\text{MJ}^{-1}$ , 排在常绿阔叶林之后, 但它与该植被类型最大光利用率( $1.008\text{gC}\cdot\text{MJ}^{-1}$ )的比值却略高于常绿阔叶林, 为 57.4%, 这在一定程度上说明了常绿针叶林对气温和水分胁迫的抗性要略强于常绿阔叶林。从各植被类型光利用率的季节变化来看(表 1), 均为夏半年高、冬半年低。常绿针叶林和常绿阔叶林的光利用率季节变化最大(标准差分别为 0.132 与 0.131), 说明它们对水热环境条件的变化更为敏感; 落叶阔叶林、灌丛和稀树林的光利用率季节变化次之, 其标准差介于 0.109~0.113 之间; 耕地的光利用率季节变化也较大(标准差为 0.098), 这主要是受人为耕作制度的影响造成的; 光利用率季节变化最小的是荒漠, 其标准差仅为 0.024, 这主要是因为荒漠区的环境恶劣, 植被稀少, 少量植被的光利用率在一年内即使有较大波动, 也很难从总体上反映出来; 城市的光利用率季节变化也很低(标准差为 0.048), 一方面可能是因为城市植被较少; 另一方面则可能因为城市植被受人为干扰比较强烈。

表 1 不同植被类型的光利用率  $\epsilon$

Tab. 1 Light Utilization Efficiency of Different Vegetation Types

植被类型	不同月份的光利用率 $\epsilon$ / ( $\text{gC}\cdot\text{MJ}^{-1}$ )												平均值
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
落叶针叶林	0.478	0.475	0.480	0.484	0.430	0.574	0.626	0.540	0.509	0.376	0.485	0.485	0.495
常绿针叶林	0.438	0.365	0.440	0.558	0.681	0.714	0.672	0.696	0.737	0.659	0.565	0.422	0.579
常绿阔叶林	0.552	0.472	0.567	0.714	0.792	0.828	0.771	0.809	0.844	0.803	0.718	0.542	0.701
落叶阔叶林	0.409	0.369	0.435	0.448	0.529	0.664	0.673	0.604	0.588	0.436	0.453	0.370	0.498
灌丛	0.367	0.314	0.398	0.479	0.603	0.620	0.570	0.578	0.609	0.552	0.478	0.359	0.494
稀树林	0.410	0.316	0.378	0.554	0.618	0.613	0.540	0.601	0.612	0.598	0.568	0.365	0.514
海边湿地	0.322	0.261	0.285	0.376	0.385	0.411	0.396	0.414	0.426	0.405	0.407	0.274	0.364
高寒植被	0.247	0.240	0.313	0.344	0.448	0.489	0.436	0.403	0.446	0.369	0.286	0.252	0.356
温带草原	0.287	0.256	0.310	0.350	0.455	0.501	0.473	0.450	0.483	0.388	0.339	0.263	0.380
荒漠草原	0.227	0.245	0.272	0.269	0.325	0.369	0.364	0.338	0.346	0.263	0.267	0.260	0.296
温带草甸	0.259	0.259	0.280	0.276	0.322	0.400	0.421	0.398	0.374	0.254	0.285	0.266	0.316
城市	0.157	0.124	0.134	0.188	0.221	0.254	0.246	0.242	0.244	0.203	0.199	0.136	0.196
水体	0.219	0.177	0.228	0.252	0.355	0.383	0.378	0.365	0.386	0.326	0.267	0.216	0.296
沼泽	0.322	0.306	0.332	0.336	0.328	0.425	0.467	0.410	0.392	0.298	0.341	0.327	0.357
荒漠	0.168	0.184	0.217	0.218	0.234	0.251	0.239	0.220	0.238	0.202	0.217	0.214	0.217
耕地	0.268	0.213	0.253	0.292	0.404	0.471	0.473	0.459	0.455	0.352	0.308	0.252	0.350

## 2.3 光利用率 $\epsilon$ 及其时空变化

### 2.3.1 光利用率的季节变化及其影响因子分析

1999 年中国的平均光利用率为  $0.375\text{gC}\cdot\text{MJ}^{-1}$ , 标准差为 0.169, 说明数据变异大, 反映了中国植被破碎化程度高、空间变化显著的特点。

中国植被光利用率的季节变化如图 2 所示, 月平均光利用率最低的是 2 月份, 为  $0.265\text{gC}\cdot\text{MJ}^{-1}$ ; 最高的是 6 月份, 为  $0.473\text{gC}\cdot\text{MJ}^{-1}$ 。从 2 月份开始, 光利用率表现为逐步上升的趋势, 5~9 月份相对平稳, 9 月份以后, 开始逐渐降低。

在理想情况下, 全国最大光利用率的平均值为  $0.674 \text{ gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$ , 由于气温和水分胁迫对光利用率的综合影响, 全国实际光利用率的年平均值仅为最大光利用率的 55.6%。单从气温的角度来考虑(图 3(a)), 其影响使实际光利用率降低到最大光利用率的 51.5%~85.4%; 冬半年(11月至次年 4 月)影响最大, 1 月份, 仅由气温影响就导致实际光利用率降低到最大光利用率的约 51.5%; 夏半年(5~10 月)影响较小, 尤其是 6~9 月份, 气温的影响使实际光利用率降低到最大光利用率的 83.9% 左右。相对于气温来说, 水分对光利用率的影响较小(图 3(b)), 使实际光利用率

降低到最大光利用率的 72.7%~88.2%; 2 月(72.7%)和 8 月(79.8%)的影响较大; 3~5 月的影响较小, 为 85% 左右; 11 月和 12 月, 尽管温度对光利用率的影响较大, 而水分的影响则相对较小。通过对比 1999 年全国的月平均气温及降水量(表 2)很容易看出, 气温和水分胁迫对光利用率影响程度的季节变化与气温和降水量的季节变化是一致的。从图 3 还可以看出, 各月的标准差都比较大, 这主要是因为我国的幅员辽阔, 地形复杂, 气候与植被类型多样, 即使是在同一时间内, 不同地区的光利用率也有很大差异。

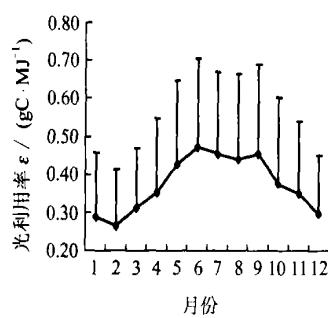
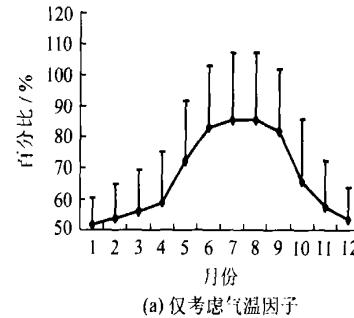
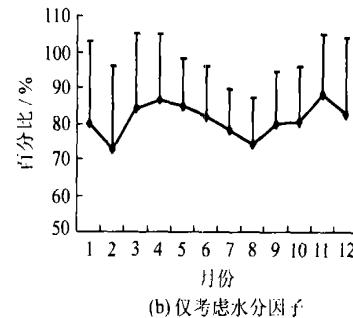


图 2 中国平均光利用率的季节变化  
(+ 标准差)

Fig. 2 Seasonal Variations of Mean Light Utilization Efficiency ( $\epsilon$ ) in China (+SD)



(a) 仅考虑气温因子



(b) 仅考虑水分因子

图 3 月平均光利用率与平均最大光利用率的比值(%)(+ 标准差)

Fig. 3 Ratio of Monthly Average  $\epsilon$  to the Mean Maximum  $\epsilon$

表 2 中国 1999 年气温和降水的月平均值

Tab. 2 Means of Temperature and Precipitation in China During Jan. 1999 to Dec. 1999

月份	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
气温 / °C	-5.2	-1.6	2.6	8.8	15.1	19.3	21.9	22.4	18.8	12.6	5.5	-2.1
降水 / mm	12.4	9.7	21.2	39.9	61.7	79.1	121.1	88.8	90.5	41.0	33.7	12.7

### 2.3.2 我国植被年平均光利用率的空间分布

我国植被年平均光利用率的取值范围在  $0.06 \sim 1.07 \text{ gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$  之间, 总体上是由东南向西北递减。从我国植被年平均光利用率分布图(附三彩图 3)可以看出, 我国北纬  $30^{\circ}$  以南地区年平均光利用率基本上都在  $0.60 \text{ gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$  以上, 其中台湾、海南、福建、江西、广东、云南和湖南、贵州、广西三省交界处以及陕西与四川交界处的部分地区, 光利用率最高, 一般在  $0.80 \text{ gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$  以上; 内蒙古、黑龙江的大、小兴安岭以及吉林南部的长白山一带, 光利用率也较高, 一般在  $0.50 \sim 0.60 \text{ gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$  之间; 青藏高原、四川盆地以及长江以北的中、东部地区, 光利用率较低, 一般在  $0.20 \sim 0.35 \text{ gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$  之间; 西北地区严重缺水, 冬夏季温差大, 光利用率低于  $0.15 \text{ gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$ 。

我国植被年平均光利用率的最大值为  $1.07 \text{ gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$ , 基本上分布在海南、台湾、福建、广东和云南一带, 这与彭少麟等人<sup>[12]</sup>所估算的广东植被年平均最大光利用率( $1.05 \text{ gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$ )较为一致。本文所估算的植被年平均光利用率尽管在取值上与朴世龙等人<sup>[14]</sup>利用 CASA 模型所估算的结果有很大差异, 但在空间上的分布趋势基本一致。造成光利用率差异较大的主要原因是由于用 CASA 模型估算时, 没有考虑到最大光利用率在不同植被类型中的差异, 将所有植被类型的最大光利用率全部定为  $0.389 \text{ gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$ , 而本文则是根据不同的植被类型来确定其最大光利用率的。

## 3 结语

1)  $\text{NDVI}_{\max}$  多出现在 7~9 月份(占 67.1%); 从最适温度的空间分布来看, 全国有一半以上的

地区(51.7%)其最适温度在20℃以上;31.3%的地区其最适温度在10℃~20℃之间;总体上是南方高于北方,东部高于西部。

2) 中国植被1999年平均光利用率的取值范围在0.06~1.07gC·MJ<sup>-1</sup>之间,预测的最高值与文献[12]的研究结果(1.05 gC·MJ<sup>-1</sup>)较为一致,效果较好。

3) 在全国范围内,各植被类型的年平均光利用率介于0.196~0.701gC·MJ<sup>-1</sup>之间。常绿阔叶林的年平均光利用率最大,为0.701gC·MJ<sup>-1</sup>,是该植被类型最大光利用率(1.259gC·MJ<sup>-1</sup>)的55.7%;城市和荒漠的年平均光利用率最低,其取值在0.20gC·MJ<sup>-1</sup>左右。从各植被类型光利用率的季节变化来看,均为夏半年高、冬半年低。常绿针叶林和常绿阔叶林的光利用率季节变化最大;荒漠的光利用率季节变化最小。

4) 中国植被平均光利用率的标准差较大,为0.169,说明数据变异大,反映了中国植被破碎化程度高、空间变化显著的特点,其整体分布趋势是由东南向西北递减,这与文献[14]利用CASA模型所估测的结果基本一致。我国北纬30°以南地区,年平均光利用率基本上都在0.60gC·MJ<sup>-1</sup>以上,其中台湾、海南、福建、广东等省的部分地区,光利用率最高,一般在0.80gC·MJ<sup>-1</sup>以上;西北地区严重缺水,冬夏季温差大,光利用率低于0.15gC·MJ<sup>-1</sup>。

## 参 考 文 献

- Field C B, Behrenfeld M J, Randerson J T, et al. Primary Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components. *Science*, 1998, 281: 237~240
- Alexandrov G A, Oikawa T, Yamagata Y. The Scheme for Globalization of a Process-based Model Explaining Gradations in Terrestrial NPP and Its Application. *Ecological Modeling*, 2002, 148(3): 293~306
- Cramer W, Kicklighter D W, Bondeau A, et al. Comparing Global Models of Terrestrial Net Primary Productivity (NPP): Overview and Key Results. *Global Change Biology*, 1999, 1 (Suppl.): 1~15
- 彭少麟, 郭志华, 王伯荪. RS 和 GIS 在植被生态学中的应用及其前景. *生态学杂志*, 1999, 18(5): 52~64
- Raymond E, Hunt J R. Relationship Between Woody Biomass and PAR Conversion Efficiency for Estimating Net Primary Production from NDVI. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 15: 1 725~1 730
- Ruimy A, Saugier B. Methodology for the Estimation of Terrestrial Net Primary Production from Remotely Sensed Data. *Journal of Geophysical Research*, 1994, 97: 18 515~18 521
- Paruelo J M, Epstein H E, Lauenroth W K, et al. ANPP Estimates from NDVI for the Central Grassland Region of the United States. *Ecology*, 1997, 78(3): 953~958
- McCrady R L, Jokela E J. Canopy Dynamics, Light Interception and Radiation Use Efficiency of Selected Loblolly Pine Families. *Forest Science*, 1998, 44(1): 64~72
- Goetz S J, Prince S D. Remote Sensing of Net Primary Production Boreal Forest Stands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1996, 78: 149~179
- Field C B, Randerson J T, Malmstrom C M. Global Net Primary Production: Combining Ecology and Remote Sensing. *Remote Sensing of Environment*, 1995, 51: 74~88
- 陈利军, 刘高焕, 励惠国. 中国植被净第一性生产力遥感动态监测. *遥感学报*, 2002, 6(2): 129~135
- 彭少麟, 郭志华, 王伯荪. 利用GIS和RS估算广东植被光利用率. *生态学报*, 2000, 20(6): 903~909
- Potter C S, Randerson J T, Field C B, et al. Terrestrial Ecosystem Production: a Process Model Based on Global Satellite and Surface Data. *Global Biochemical Cycle*, 1993(7): 811~841
- 朴世龙, 方精云, 郭庆华. 利用CASA模型估算我国植被净第一性生产力. *植物生态学报*, 2001, 25(5): 603~608
- 中国科学院植物研究所. 中国植被图. 北京: 中国地图出版社, 1979
- Pan Y Z, Li X B, Gong P, et al. An Integrative Classification of Vegetation in China Based on NOAA AVHRR and Vegetation-Climate Indices of the Holdridge Life Zone. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(5): 1 009~1 027
- 周广胜, 张新时. 自然植被净第一性生产力模型初探. *植物生态学报*, 1995, 19(3): 193~200
- 张志明. 计算蒸发量的原理与方法. 成都: 成都科技大学出版社, 1990. 216~223
- 周广胜, 张新时. 全球气候变化的中国气候-植被分类研究. *植物学报*, 1996, 38(1): 8~17
- 张新时. 植被的PE(可能蒸散)指标与植被-气候分类(二)——几种主要方法与PEP程序介绍. *植物生*

## Method for Simulative Calculation for Design of GPS Horizontal Network and Its Application

ZHANG Songlin<sup>1</sup> ZHANG Zhenglu<sup>1</sup> LUO Nianxue<sup>1</sup>

(1 School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** On the basis of the optimisation design theory and practice of classical terrestrial control network observed with distance, direction or azimuth, a simulative method for optimisation design and calculation of GPS horizontal network is proposed with calculating procedure and steps in detail. This paper also points out what must be paid attention to GPS network design: the accuracy of network points depends upon the datum; the GPS base linevector can be from some hundred meters to more than 20 km.

**Key words:** simulative method; GPS horizontal network; design and calculation; universal adjustment software system

**About the first author:** ZHANG Songlin lecturer, Ph. D. She is concentrated on the education and research in geodesy, engineering surveying and measurement data processing.

(责任编辑: 洪远)

(上接第 698 页)

生态学与地植物学报, 1989, 13(3): 197~207

21 Running S W, Thornton P E, Nemani R, et al. Global Terrestrial Gross and Net Primary Productivity from the Earth Observing System. In: Sala O, Jackson R, Mooney H, eds. Methods in Ecosystem Science. New

York: Springer Verlag, 2000. 44~57

**第一作者简介:** 朱文泉, 博士生。现主要从事 GIS 和 RS 在生态学方面的应用研究工作。

E-mail: zhuwq75@163.com

## Estimation of Light Utilization Efficiency of Vegetation in China Based on GIS and RS

ZHU Wenquan<sup>1</sup> CHEN Yunhao<sup>1</sup> PAN Yaozhong<sup>1</sup> LI Jing<sup>1</sup>

(1 College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster of the Ministry of Education of China at Beijing Normal University, 19 Xinjiekou Wai Street, Beijing 100875, China)

**Abstract:** On the basis of GIS and RS technology, using the ground meteorological data and NOAA/AVHRR NDVI data, a method of light utilization efficiency ( $\epsilon$ ) is presented. The results show that the estimated annual mean  $\epsilon$  in China varies from  $0.06 \text{ gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$  to  $1.07 \text{ gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$ . The standard deviation of mean  $\epsilon$  is large, whose value is 0.169. This shows that the spatial variation of  $\epsilon$  in Chinese vegetation is remarkable.

**Key words:** light utilization efficiency; NDVI; GIS; RS

**About the first author:** ZHU Wenquan, Ph. D candidate, majors in the application of GIS and RS to ecology.

E-mail: zhuwq75@163.com

(责任编辑: 晓晨)