

利用 GIS 和 RS 估算广东植被光利用率

彭少麟^{1,3}, 郭志华², 王伯荪¹

(1. 中山大学生物系, 广州 510275; 2. 中国林科院森林生态环境研究所, 北京 100091; 3. 中国科学院广州分院, 广州 510070)

摘要:在 GIS 和 RS 工具的支持下, 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。结果表明: Potter 和 Field 等提出和使用的全球植被月最大光利用率 0.389gC MJ^{-1} , 对于广东植被来讲, 此值偏低; 广东植被的年平均光利用率介于 $0.69\sim 1.05\text{gC MJ}^{-1}$ 之间, 预测值与实测值一致, 效果较好; 广东植被光利用率的年变化显著, 冬半年的平均值约为夏半年的一半, 这主要是因为该区气温和水分条件季节变化明显的缘故; 即使是常绿阔叶林, 其年平均光利用率也有明显差异, 并且年变化十分显著。

关键词:光利用率; NOAA-AVHRR NDVI; GIS; 广东省

Use of GIS and RS to estimate the light utilization efficiency of the vegetation in Guangdong, China

PENG Shao-Lin^{1,3}, GUO Zhi-Hua², WANG Bo-Sun¹ (1. Department of Biology, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China; 2. The Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protect, CAF, Beijing, 100091, China; 3. Guangzhou Branch, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510070, China)

Abstract: By the aid of the ARC/INFO 7. 2. 1 and ERMapper 5. 5, using the ground meteorological data and NOAA-AVHRR NDVI data, we estimated the light utilization efficiency (ϵ) of the vegetation in Guangdong Province, which lies in subtropical and tropical monsoon climate zone. The results showed that the maximum achievable light utilization efficiency (0.389gC MJ^{-1}), which was calculated by Potter *et al.* and Field *et al.* and *etc.*, was underestimated in Guangdong. The measured annual mean in Guangdong varied from 0.69 to 1.05gC MJ^{-1} and the predicted ϵ was consistent with observed values before. Moreover, seasonal variations of the vegetation in Guangdong were remarkable, and the mean value in winter was half as high as the mean in summer, because the seasonal swings in temperature and precipitation in Guangdong had a large impact. Even in the evergreen broad-leaved forests, different subtypes did not have the same mean ϵ , and all of them have large seasonal changes.

Key words: light utilization efficiency; NOAA-AVHRR NDVI; GIS; Guangdong

文章编号: 1000-0933(2000)06-0903-07 中图分类号: Q948.1 文献标识码: A

区域乃至全球植被净第一性生产力 NPP 的估测从来就是卫星遥感的一项重要应用, 而对植被光利用率 ϵ 的估算又是估测 NPP 的一条重要途径^[1]。

Tucker 等^[2]对大气 CO_2 浓度与归一化差植被指数 NDVI 动态关系的研究为利用遥感数据研究自然植被生产力奠定了基础。此后, 人们便更多地基于植被指数 VI 和植被吸收的光合有效辐射 APAR 之间的经验和理论关系、利用遥感数据监测植被生长。

估计全球陆地 NPP 的方法有多种, 参数模型在精度和实用性方面效果较好^[3]。

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(批准号: 39899370)、中国科学院 95 重大项目(批准号: KZ951-B1-110)和广东省重大基金项目(批准号: 980952)资助, 主要在中国科学院鹤山丘陵综合开放试验站信息室完成

收稿日期: 1999-11-04 修订日期: 2000-03-15

作者简介: 彭少麟(1956~), 男, 广东潮阳市人, 博士生导师, 研究员。主要从事生态系统动态研究工作。

在利用参数模型和遥感数据进行 NPP 的估算时,有的直接利用归一化差植被指数 NDVI 与 NPP 的关系进行计算^[4~8]。

有的则在估算 APAR 的基础上,通过估算光利用率 ϵ (将吸收的 PAR 转换为有机碳的效率,又称转换效率 Conversion efficiency)来实现的^[1]。

NPP 与 APAR、 ϵ 的关系就是 Monteith 方程^[9]:

$$NPP = \epsilon \cdot \int APAR \quad (1)$$

已出版的文献表明,不同植被的光利用率 ϵ 差异很大,引出很多争议。全球不同类型植被的光利用率受 ϵ 在 0.09~2.16gC MJ⁻¹ PAR 之间^[3,9~11]。Potter 等^[12]和 Field 等^[13,14]认为全球植被的月最高光利用率 ϵ^* 应为 0.389gC MJ⁻¹。引起差异的主要原因是光利用率 ϵ 受气温、水分、土壤、营养、疾病、个体发育、基因型差异和植物维持与生长的不同能量分配等因素的影响^[15]。所以,不同类型的植被以及同一植被在不同的环境条件下,其光利用率 ϵ 不同。进而,基于年吸收光合有效辐射 APAR 的植被 NPP 的准确估测,关键在于对光利用率 ϵ 的有效估算。

Ruimy 等^[3]在对 f_{PAR} 进行大气校正研究的基础上,对不同类型植被用不同的 ϵ 值(在 0.108~1.580gC MJ⁻¹ 之间),再根据公式(1)求出全球陆地的 NPP 约为每年 60 Gt C。Potter 等^[12]和 Field 等^[13]用 CASA 模型和遥感数据,预测全球陆地的 NPP 约为每年 48 Gt C。Field 等^[14]运用相同的方法研究了全球陆地的 NPP,用类似的方法研究了全球海洋的 NPP,得出陆地的 NPP 为 56.4 PgC,海洋的 NPP 为 48.5 PgC。

目前,国内类似研究尚不多。本文在 GIS 的支持下,利用地面气象数据和遥感数据研究了广东植被 1992-04~1993-03 间的光利用率 ϵ 及其时空分异。

1 数据与方法

1.1 数据

本文所用 NOAA AVHRR DNVI 数据由美国地质调查局(USGS)提供,为 1992-04~1993-03 期间 12 个月的最大值合成 NDVI,地面几何分辨率为 1km^[16]。USGS 向全球免费提供的 1km NDVI 数据(网址为: <http://edc.usgs.gov/>)已被广泛应用于大尺度的陆地植被生态学研究^[1]。

研究区内 1992~1993 年间的地面气象数据资料来自国家气象中心和广东省气象局。

1.2 方法

AVHRR NDVI 数据的处理同文献^[16]。利用 GIS 的插值工具,分别将 41 个站点 1992-04~1993-03 间的月均温及 1992-03~1993-03 间月降水量等离散点数据,插值生成栅格数据,象元大小与 NDVI 数据一致,均为 1km,且投影相同^[16]。

关于光利用率 ϵ 的计算采用 Potter 等^[12]及 Field 等^[13,14]提出和使用的公式:

$$\epsilon(x, t) = f_1(x, t) \cdot f_2(x, t) \cdot f_w(x, t) \cdot \epsilon^* \quad (2)$$

这里, $\epsilon(x, t)$ 表示象元 x 处在 t 月的实际光利用率, $f_1(x, t)$ 、 $f_2(x, t)$ 及 $f_w(x, t)$ 分别是气温和水分胁迫等对最大光利用率 ϵ^* 的影响系数。其计算公式分别为:

$$f_1(x) = 0.8 + 0.02 \cdot T_{opt}(X) - 0.0005 \cdot [T_{opt}(x)]^2 \quad (3)$$

$$f_2(x) = 1.1814 / \{1 + \exp[0.2 \cdot (T_{opt}(x) - 10 - T(x, t))]\} \cdot 1 / \{1 + \exp[0.3 \cdot (-T_{opt}(x) - 10 + T(x, t))]\} \quad (4)$$

$$f_w(x, t) = \min(0.5 + EET(x, t - 1) / PET(x, t), 1) \quad (5)$$

上式中, T_{opt} 为年内 NDVI 值达最高时的当月气温, $T(x, t)$ 为象元 x 处的 t 月气温。由于 AVHRR NDVI 值反映了植物吸收红光(0.58~0.68 μm)的相对大小,因此,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。本文中,对于那些有月数据 NDVI 最大值的少数象元, T_{opt} 取 NDVI 最大值第一次出现时的当月气温。

$f_1(x, t)$ 表达了植物由于对极端生境的适应而导致的对光利用率的限制,反映了低温和高温时内在的

生化作用对光合的限制以降低 NPP^[13],这是因为低温和高温时高的呼吸消耗必将会降低光利用率^[12]生长在偏离最适温度的条件下,其光利用率必将会降低,这一事实,并且光利用率为一非对称钟形曲线,在高温下比在低温时降低得更快^[12]。在温度季节变化显著的地区, f_2 对光利用率和 NPP 影响很大,而在低纬度的荒漠和热带雨林等温度变化小的地区, f_2 的影响很小。

(5)式中, $EET(x, t-1)$ 和 $PET(x, t)$ 分别代表象元 x 处上一月估计蒸散和当月潜在蒸散。 PET 的计算同文献^[17]。若月降水大于 PET ,则 $EET = PET, f_w(x, t) = 1$,否则 EET 由 Turc 公式计算。此外,由于在南亚热带湿润季风区,以月降水为基础的降水与 NPP 的关系,表现为上一月的降水量对当月的 NPP 影响最大。因此,本文在 EET 的计算中将上一月的降水作为对当月的影响。

在广东省范围内,本文的月最大光利用率 ϵ 取 1.25gC MJ^{-1} 。这是因为:①实测研究表明,鼎湖山季风常绿阔叶林和黑石顶常绿阔叶林的实际多年平均光能利用率(生产力与入射 PAR 的比值)分别大于 0.605gC MJ^{-1} 和 0.515gC MJ^{-1} ^[18,19]。无疑,广东植被的月最高光利用率应显著大于年平均光能利用率。②此值为 Heimann 等(见文献^[12])对作物实测研究所得出的结果,可以在一定程度上反映地球植被的月最大光利用率。③应用此值根据遥感数据建模所得出的植被生产力、光能利用率等与实测研究结果有较好的一致性,能反映广东植被的真实情况。

地理信息系统方面的工作在 ARC/INFO 7.2.1(WIN NT 版)下进行,遥感数据处理在 ERMapper 5.5(WIN95 版)下进行,统计分析在 SAS 软件下进行。

2 结果与讨论

2.1 T_{opt} 的估计

T_{opt} 的估计结果见彩版 I。从图中可知:广东各地 NDVI 的最大值 NDVI_{max} 介于 $0 \sim 0.68$ 之间,与植被分布较一致。大的水库和河流,其 NDVI_{max} 为零。珠江三角洲地区,特别是南海、顺德等地的 NDVI_{max} 很低,多小于 0.25 。 NDVI_{max} 的高值区出现在奥中部,粤北、粤西部分地区及南部小部分的 NDVI_{max} 也很高,其植被类型主要为常绿阔叶林和针叶树成熟林。针叶树幼林(雷州半岛以外的地区均有分布)和灌丛(粤北、粤东分布较多)的 NDVI_{max} 较低。其余地区,如广大的农业区, NDVI_{max} 多小于 0.5 (见彩版 I-A)。

NDVI_{max} 出现的时间以 10 月最多(占 43.2%),余下依次是 7 月(19.41%),5 月(12.74%),9 月(9.46%),8 月(6.89%)和 6 月(5.76%),其余各月共占 2.71% 。多数农业区 NDVI_{max} 出现的时间相对较早(如粤东、珠江三角洲和粤北等),而 NDVI_{max} 较高的粤中、粤西自然植被区, NDVI_{max} 出现的时间较晚,多为 10 月(见彩版 I-B)。

全省的 T_{opt} 在 $15 \sim 30\text{C}$ 之间(见彩版 I-C)。只有粤西北连州市的极小部分山区,其 T_{opt} 在 20C 以下,这主要是因为该地区 NDVI 达到最大值的时间较晚且山区气温较低缘故。其余地区的 T_{opt} 均大于 20C 。总体来讲,南部高于北部,农业区高于非农业区。

2.2 光利用率 ϵ 及其时空变化

2.2.1 光利用率 ϵ 的空间分异 根据(2)~(5)式计算的广东植被年平均光利用率(见彩版 II)。在 1992-04~1993-03 期间,全省植被的年平均光利用率在 $0.691 \sim 1.047\text{gC MJ}^{-1}$ 之间。本研究中,鼎湖山和黑石顶常绿阔叶林区的光利用率分别为 $1.007(\pm 0.003)\text{gC MJ}^{-1}$ 和 $0.930(\pm 0.008)\text{gC MJ}^{-1}$ 。在 1992-04~1993-03 期间,鼎湖山和黑石顶常绿阔叶林区对总光合有效辐射 PAR 的吸收效率 f_{PAR} 平均分别为 57.6% 和 58.2% ^[16]。按文献^[18,19]计算,鼎湖山和黑石顶常绿阔叶林的实际光利用率分别约为 1.050gC MJ^{-1} 和 0.885gC MJ^{-1} ,本研究结果与之接近。差异的主要来源可能是,实测的研究结果为多年平均值,本研究结果为当年值,并且过去的研究区对象均为小块样地。总的来讲,利用 GIS 和 RS 估算的广东植被光利用率与实测结果较为一致,效果较好。

粤东大部、粤北的南雄盆地、韶关市区附近和连州石灰岩地区等地的光利用率较低,多在 0.83 以下,这些地区主要为灌丛;粤西多数地区的光利用率很高,多在 0.93 以上,针叶林和阔叶林较多;粤中部沿海地区和雷州半岛大部分地区等地的光利用率介于上述地区之间。

2.2.2 光利用率 ϵ 的年变化及其影响因子 在 1992-04~1993-03 期间全省的平均光利用率为 $0.898(\pm 0.091)\text{gC MJ}^{-1}$, 且年变化显著(图 1)。从图 1 可知, 广东植被的光利用率 ϵ 在夏半年(4~10 月)很高, 平均为 1.118gC MJ^{-1} ; 冬半年(11 月至次年 3 月)很低, 平均为 0.589gC MJ^{-1} , 约相当于夏半年的 53%。全省植被月平均光利用率的标准差在各月都较大, 这反映了广东植被比较破碎、空间变化大的特点。

气温和水分胁迫等对光利用率 ϵ 的影响有所不同(图 2)。夏半年气温和水分条件对光利用率 ϵ 的影响相对较小。在这期间, 气温的影响使实际光利用率降低到最大光利用率的 88% 以上, 而水分条件影响很小, 仅使实际光利用率最多降低不到 5%。冬半年温度和水分胁迫导致光利用率显著降低(图 2)。1 月, 仅由于气温影响就导致实际光利用率约降低到最大光利用率的 40.9%。11 月和 12 月, 仅因水分胁迫的影响就导致实际光利用率约降低到最大值的 53%。其根本原因就是此期间的气温很低($<11.0\text{C}$), 降水很少(10、11 月的全省平均降水量 $<7.0\text{mm}$)造成的(表 1)。1 月和 2 月, 水分条件对光利用率影响相对较小。

2.2.3 PCA 分析 对广东植被 12 个月的光利用率 ϵ 作 PCA 分析, 结果表明(图 3): 全省植被光利用率的年变化主要与前两个主成分有关, 前两个主成分占全部信息量的 85.14%。第一主成分的特征根为 6.578, 单独说明了全省植被光利用率 ϵ 原始数据逐月标准总变异的 50.60%。在第一主成分中, 1992 年 6~9 月的负荷量为负, 其余各月为正, 并且, 以冬半年(11 月至次年 3 月)的影响相对更大。这充分体现了气候对植被光利用率的综合影响。其主要原因是, 广东虽地处东南亚热带湿润季风气候区, 但雨热同季, 气温和降水的季节变化显著, 11 月至次年 3 月为相对干冷季节(表 1), 使植物的生长受到限制, 光利用率明显降低。

第二主成分的特征根为 4.490, 能解释广东植被光利用率年变化总变异的 34.54%。冬半年表现为负载荷, 且载荷量很小(>-0.1); 夏半年表现为正载荷, 且载荷量较大(图 3)。这集中反映了夏半年气候对植被光利用率的影响, 影响最大的是 1992 年 6、7 和 9 月。

表 1 广东在 1992-03~1993-03 期间气温和降水的平均值(\pm 标准差)

Table 1 Means of temperature and precipitation in Guangdong during 1992-03~1993-03(\pm se)

	1992-03	1992-04	1992-05	1992-06	1992-07	1992-08	1992-09	1992-10	1992-11	1992-12	1993-01	1993-02	1993-03
气温 ^① ($^{\circ}\text{C}$)	21.5 (3.2)	24.0 (3.6)	26.3 (3.8)	27.3 (3.9)	28.3 (4.1)	26.9 (3.9)	21.7 (3.4)	17.5 (2.9)	16.2 (2.9)	10.9 (2.5)	15.3 (2.7)	17.3 (3.0)	
降水 ^② (mm)	277.3 (178.9)	245.1 (72.0)	309.2 (91.8)	309.6 (130.9)	241.3 (96.1)	115.3 (49.6)	160.3 (65.7)	3.9 (7.1)	6.0 (6.6)	55.3 (16.9)	40.0 (18.5)	36.5 (34.6)	

①Temperature; ②Precipitation.

2.3 不同类型植被的光利用率 ϵ

本文每一类型植被的研究子区大小均 $\geq 9\text{km}^2$ 。选取的植被类型有: 原生常绿阔叶林 Ea(黑石顶 I, 车八岭 II、丰溪 III), 长势较好的次生常绿阔叶林 Eb(从化平头顶 IV、广州帽峰山 V 和南昆山 VI), 长势良好的人工常绿阔叶林 Ec(湛江桉林 VII、阳江林场桉林 VIII), 竹林 Ed(广宁 IX), 针叶树成熟林 Ca(黑石顶、鼎湖山), 针叶树幼林 Cb(白云山), 灌丛 S(阳山东山、罗定苹塘), 草丛 G(罗定黎少), 农业生态系统 AE(中山、南雄盆地、潮连岛) 城市生态系统 CE(广州和韶关)。

在选中的研究区内, 各大类型植被的年平均光利用率介于 $0.820\sim 0.976\text{gC MJ}^{-1}$ 之间, 平均为

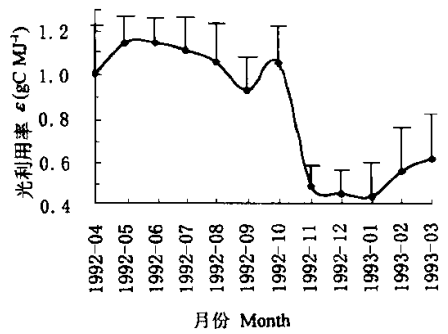


图 1 广东平均光利用率的年变化(\pm 标准差)(gC MJ^{-1})

Fig. 1 Seasonal variations of mean light utilization(ϵ) in Guangdong(\pm se)(gC MJ^{-1})

0.904gC MJ⁻¹(图 4A)。虽然各大类型植被在 f_{PAR} 、APAR 和 NPP 等方面都有很大的差异,但在光利用率方面的差异并不大;并且,原生常绿阔叶林 E_a 的光利用率(0.820)明显比所有其他选中的植被类型低,相反,竹林 E_d、针叶树成熟林 C_a、草丛 G 和长势较好的常绿阔叶林 E_b 等的光利用率较高($p < 0.05$)。其原因还有待进一步研究。

对于常绿阔叶林,在选中的研究区内,丰溪和车八岭等地的原生常绿阔叶林的平均光利用率最低,均约为 0.775gC MJ⁻¹,广宁竹林和从化平头顶长势较好的次生常绿阔叶林的平均光利用率较高,分别为 0.976 和 0.968gC MJ⁻¹($p < 0.05$)(图 4B)。

常绿阔叶林光利用率的年际变化显著(图 5),均为夏半年高,冬半年低,并且在 11 月急剧降低。11 月光利用率降低的主要原因是 10 月份的降水稀少且 11 月气温已明显降低(表 1)。一些地区的常绿阔叶林,其光利用率在 8 月或 9 月也较明显降低,这主要是受气温和降水的影响。在全省,9 月气温高(平均气温 26.7℃),而 8 月的降水比 9 月少近 40%,因此,高温和水分供应不足限制了植物将吸收光能转化为有机物的能力。相反,在 10 月份,气温适宜(平均 21.7℃)和充足的供水有利于植物光利用率的提高。黑石顶常绿阔叶林在夏半年的多数时间里,其光利用率都较其他常绿阔叶林低;在冬半年,丰溪和车八岭等地的常绿阔叶林的光利用率较低,而广宁竹林的光利用率相对较高(图 5)。

3 讨论

①利用遥感数据对植被光利用率、生产力以及光能利用率等的有效估算,在很大程度上取决于月最大光利用率的取值。根据本文 ϵ^* 的取值,所得出的结果,无论是在光利用率、还是植被生产力和光能利用率方面,都与现有理论和实测研究结果等有很好的-一致性。如果选取 ϵ^* 为 0.389 gC MJ⁻¹,则得出广东植被当年的最高生产力只有 8t(干物质)hm⁻² · a⁻¹左右,长势最好的植被对太阳总辐射的最高利用率也小于 0.5%,这样的结论与实测结果和现有理论都相差较大。

②Potter 等^[12]和 Field 等^[13,14]认为全球植被的月最高光利用率 ϵ^* 应为 0.389gC MJ⁻¹。按此计算,全球生产力最高的植被对太阳总辐射的最大利用率也只有约为 0.8%($\approx 0.389 \div 0.45 \times 18.5 \div 1000 \div 2,1$ 克干物质相当于 0.45g 有机碳^[3],每克干物质含 18.5kJ 的能量^[18],2 表示光合有效辐射约占太阳总辐射的一半)。已有理论和大量数据均显示此值偏低^[18~20]。我国高产麦田小麦在拔节至开花期的光能利用率可达 3.16%^[21]。武夷山黄山松林的光能利用率为 0.997%,热带人工林为 2.35%~5.07%^[22]。美国 South Carolina 的松林(*Pinus taeda*),仅其地上部分的光利用率就在 0.60~0.67gC MJ⁻¹之间^[10]。③Potter 等^[12]和 Field 等^[13,14]的推导是建立在 MIAMI 模型^[23]基础之上的,他们声称其对全球陆地植被生产力的遥感模型估算结果与 MIAMI 模型的模拟结果很一致。这引出了两个值得商榷的问题。一方面,众所周知,

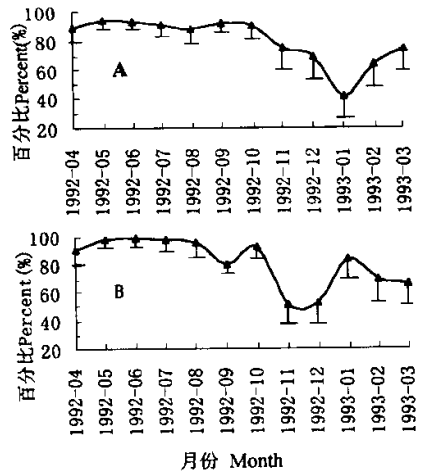


图 2 预测值与最大光利用率 ϵ^* 的比值(%) (A:仅考虑气温因子;B:仅考虑水分因子)(\pm 标准差)

Fig. 2 The ratio of predicted ϵ to ϵ^* (%) (A: just including temperature stress; B: just including water stress)(\pm se)

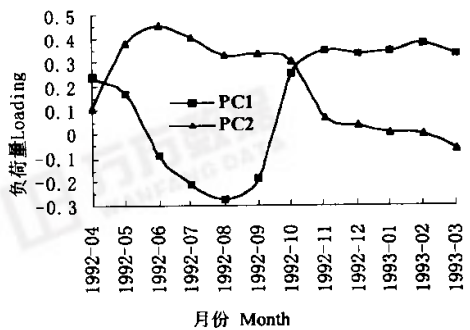


图 3 前两个主成分的特征向量结构

Fig. 3 Eigenvector structures of the first two principle components

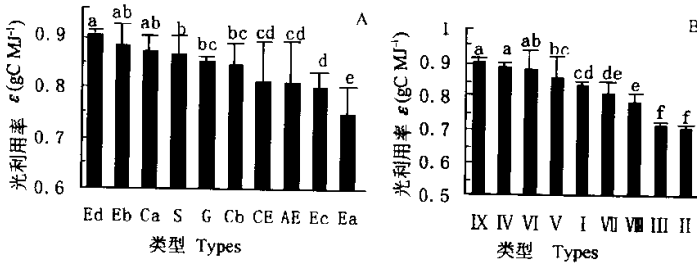


图4 各类型植被年平均 ϵ 之比较 (gC MJ^{-1}) (\pm 标准差)

(A: 各大类; B: 常绿阔叶林, 不同字母表示差异显著 ($p < 0.05$))

Fig. 4 Annual mean ϵ of different vegetation (gC MJ^{-1}). (A: different types; B: different evergreen broad-leaved forests, different letters indicate significant differences ($p < 0.05$)) (\pm se)

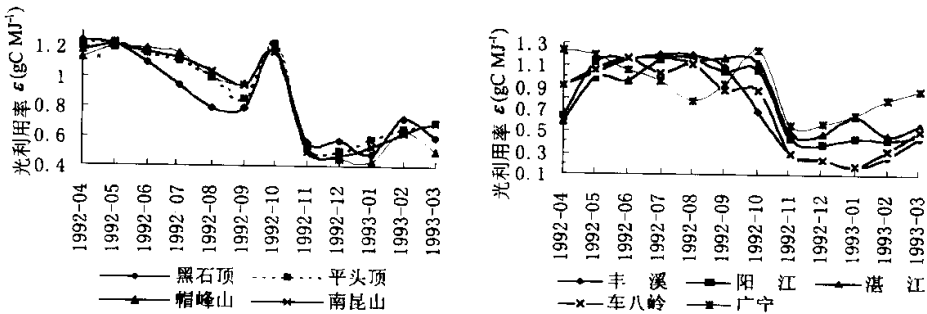


图5 不同常绿阔叶林光利用率 ϵ 的年变化

Fig. 5 Seasonal variations of mean light utilization efficiency per evergreen broad-leaved forest

群落生产力的测定,特别是森林群落(尤其是热带雨林)生产力的准确或尽可能准确测定具有很大难度。迄今为止,热带雨林生产力的准确测定还没有简便、可靠、可行的办法。因此,基于 Lieth 等(1975)关于全球植被最高生产力 $30 \text{ t(干物质)hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 的推论为基础的 MIAMI 模型本身就不能作为可靠的论据。另一方面,MIAMI 模型是根据气候数据估算的植被潜在生产力,而利用遥感数据的 CASA 生物圈模型^[12~14,24]估算的是植被现实生产力。”全球植被的现实生产力与潜在生产力很一致”的结论是站不住脚的。④从其他途径研究得出的结果也表明 Potter 等^[12]和 Field 等^[13]的 ϵ^* 取值偏低。Fan 等^[25]根据 CO_2 数据和大气传输模型,研究得出的北美陆地生态系统每年吸收 C 的数量远远超出了 Potter 等^[12]的估计值。⑤现有的实验技术,可以有效地测量不同植物在不同气候条件下的光利用率,如 CID、ADC 和 LI-COR 等公司生产的便携式光合作用测定仪为这样的测定提供了方便、可靠的保障。这样,大力开展对地面各类群落光利用率的准确测定,不仅有利于解决上述争拗,而且有利于根据遥感数据更准确、有效地估算区域乃至全球的 NPP 以及进一步地研究区域乃至全球的 C 循环,另外还可提高遥感数据的利用价值。因此,只有与传统生态学相结合并利用遥感和其他数据所进行的生态学研究才能得出正确的结论,也才有生命力^[1]。

4 结论

(1) 广东植被在 1992-04~1993-03 间的年平均光利用率介于 $0.69 \sim 1.05 \text{ gC MJ}^{-1}$ 之间。估计结果与实测值较一致,表明完全可以利用 GIS 和 RS 来估算大区域植被的光利用率,这为进一步研究广东陆地植被生产力提供可靠数据

(2) 由于广东气候具有较明显的季节变化,其对植被光利用率的影响显著,导致冬半年的光利用率降

低到夏季的一半左右。

(3)虽然各大类型植被光利用率之间有差异,但与 f_{PAR} 、APAR 及 NPP 相比,差异并不大。即使是常绿阔叶林,其光利用率也不尽相同,且年变化十分显著。

参考文献

- [1] 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.
- [2] Tucker C J, Fung I Y, Keeling C D, *et al.* Relationship between atmospheric CO₂ variations and a satellite-derived vegetation index. *Nature*, 1986, **319**: 195~199.
- [3] Ruimy A and Saugier B. Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotely sensed data. *J. Geophysical Research*, 1994, **97**: 18515~18521.
- [4] Running S W, Nemani R R, Peterson D, *et al.* Mapping regional forest evapotranspiration and photosynthesis by coupling satellite data with ecosystem simulation. *Ecology*, 1989, **70**(4): 1090~1101.
- [5] Running S W. Estimating terrestrial primary productivity by combining remote sensing and ecosystem simulation. In: Hobbs R J and Mooney H A. *Remote Sensing of Biosphere Functioning*. Springer-Verlag, 1990. 65~86.
- [6] Prince S D. Satellite remote sensing of primary production: comparison of results for Sahelian grasslands 1981~1988. *Int J Remote Sens.*, 1991, **12**(6): 1301~1311.
- [7] 肖乾广,陈维英,盛永伟,等. 用 NOAA 气象卫星的 AVHRR 遥感资料估算中国的净第一性生产力. 植物学报, 1996, **38**(1): 35~39.
- [8] Rasmussen M S. Developing simple, operational, consistent NDVI-vegetation models by applying environmental and climatic information: part 1. Assessment of net primary production. *Int J Remote Sens.*, 1998, **19**(1): 97~117.
- [9] 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.
- [10] McCrady R L and Jokela E J. Canopy dynamics, light interception, and radiation use efficiency of selected loblolly pine families. *Forest Science*, 1998, **44**(1): 64~72.
- [11] Goetz S J and Prince S D. Remote sensing of net primary production boreal forest stands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1996, **78**: 149~179.
- [12] 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 Biochemich Cycle*, 1993, **7**: 811~841.
- [13] Field C B, Randerson J T and Malmstrom C M. Global net primary production: combining ecology and remote sensing. *Remote Sens Environ*, 1995, **51**: 74~88.
- [14] 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.
- [15] Prince S D. A model of regional primary production for use with coarse-resolution satellite data. *Int J Remote Sens.*, 1991, **12**(6): 1313~1330.
- [16] 郭志华,彭少麟,王伯荪,等. GIS 和 RS 支持下广东省植被吸收 PAR 的估算及其时空分布. 生态学报, 1999, **19**(4): 441~447
- [17] 张新时,杨奠安,倪文革. 植被的 PE(可能蒸散)指标与植被-气候分类(3)几种主要方法与 PEP 程序介绍. 植物生态学与地植物学学报, 1993, **17**(2): 97~109.
- [18] 彭少麟,张祝平. 鼎湖山地带性植被生物量、生产力和光能利用率. 中国科学(B辑), 1994, **24**(5): 497~502.
- [19] 陈章和,王伯荪,张宏达. 亚热带常绿阔叶林的生产力. 广州:广东高教出版社, 1996. 124~135
- [20] 王伯荪,彭少麟. 植被生态学——群落与生态系统. 北京:中国环境科学出版社, 1997. 340~353.
- [21] 董振国,于沪宁. 农田作物层环境生态. 北京:中国农业科技出版社, 1994. 248.
- [22] 林 鹏,林益明,李振基,等. 武夷山黄山松群落能量的研究. 生态学报, 1999, **19**(4): 504~508.
- [23] Lieth H and Whittaker R H. 1975. 生物圈的净第一性生产力. 王业 等译. 北京:科学出版社, 1985.
- [24] Holland E A, Brown S, Potter C S, *et al.* North American carbon sink. *Science*, 1999, **283**: 1815.
- [25] Fan S, Gloor M, Mahlman J, *et al.* A large terrestrial carbon sink in North America implied by atmospheric and oceanic CO₂ data and models. *Science*, 1998, **282**: 442~446.