

# GIS 和 RS 支持下广东省植被吸收 PAR 的估算及其时空分布

郭志华<sup>1</sup>, 彭少麟<sup>1,2</sup>, 王伯荪<sup>1</sup>, 张 征<sup>2</sup>

(1. 中山大学生物系 广州 510275; 2. 中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

**摘要:** 在 GIS 和 RS 支持下, 利用地面气象数据和 NOAA-AVHRR NDVI 数据估计了广东省植被在 1992-04~1993-03 间吸收的 PAR, 并分析了其时空分布特征以及不同类型植被对 PAR 的吸收特征。结果表明: 在此期间, 广东省植被年 A PAR 介于 0~1575 MJ/m<sup>2</sup>a 之间, 其最大 NPP 不及全球最高值的一半; 并且, 广东省年 A PAR 的时空变化显著, 这主要与植被自身性质和太阳辐射的时空变化有关; 即使是常绿阔叶林, 其年 A PAR 也有显著差异, 并且吸收 PAR 的年变化显著, 全年以 7、10 月份吸收的 PAR 量最高。

**关键词:** A PAR; AVHRR NDVI; GIS; 广东省

## Estimation of radiation absorption by Guangdong vegetation using GIS and RS

GUO Zhi-Hua<sup>1</sup>, PENG Shao-Lin<sup>1,2</sup>, WANG Bo-Sun<sup>1</sup>, ZHANG Zheng<sup>2</sup> (1. Department of Biology, Zhongshan University, Guangzhou, 510275, China; 2. South China Institute of Botany, Academia Sinica, Guangzhou, 510650)

**Abstract:** The ground meteorological data and AVHRR NDVI data have been used to assess the absorbed photosynthetically active radiation (A PAR) by the vegetation in Guangdong, China. By the aid of WeatherMan program, the ground meteorological data was used to calculate the PAR and GIS (ARC/INFO) interpolation tools were exploited to create spatial surface of PAR from point layer. Then we estimated the fraction of PAR absorbed for each month during 1992-04~1993-03. The results showed that during this period, the annual A PAR in Guangdong ranged from 0~1575 MJ/m<sup>2</sup>a, and the maximum Net Primary Production (NPP) in Guangdong was not half as high as the maximum NPP in the world. The seasonal variations of A PAR in Guangdong were obvious because of the different nature of the vegetation and the seasonal variations of solar radiation. In the evergreen broadleaf forests, different subtypes did not have the same annual A PAR, and all of them absorbed PAR more in July and October than in any other months.

**Key words:** absorbed photosynthetically active radiation; AVHRR NDVI; GIS; Guangdong Province

文章编号: 1000-0933(1999)04-0441-07 中图分类号: Q 145 文献标识码: A

太阳辐射为植物光合作用提供能源, 但植物仅能利用其中的光合有效辐射 (photosynthetically active radiation, PAR), 即 380~710nm 这部分能量<sup>[1]</sup>。植物对 PAR 的截获与利用成为生物圈起源、进化和持续存在的必要条件。因此, 研究植物吸收的光合有效辐射 (absorbed photosynthetically active radiation, A PAR) 可为进一步研究植物的光合作用和光利用率提供基础, 同时对于植被生产力及其有关生物圈过程

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(29899370)、中国科学院“九五”重大项目(KZ951-B1-110)和广东省自然科学基金项目(980952)资助。

本文工作主要在中国科学院鹤山丘陵综合开放试验站信息室完成。感谢美国 Florida 大学的 James W. Jones 博士提供 WeatherMan 程序。

收稿日期: 1998-12-05; 修订日期: 1999-03-20

的建模与监测也具有重要意义<sup>[2-5]</sup>。大尺度以及全球范围 A PAR 的监测还有助于理解全球的 CO<sub>2</sub> 循环<sup>[6]</sup>。

目前,利用卫星遥感数据对大尺度以及全球范围 A PAR 的研究已做了大量工作<sup>[2-10]</sup>,并且,利用遥感数据所进行的植被生态学研究也有助于提高卫星信息的使用价值<sup>[9]</sup>。

一般, A PAR 与 PAR 间存如下关系:  $A PAR = f_{PAR} \cdot PAR$  (1)

式中  $f_{PAR}$  为植被层对入射光合有效辐射 PAR 的吸收系数。所以,对大尺度 A PAR 的监测和估算主要通过  $f_{PAR}$  和 PAR 的估算来实现。

区域及全球 PAR 的估测主要有两条途径<sup>[11]</sup>: 利用遥感数据估算<sup>[5,12,13]</sup>,如 Dye 等<sup>[5]</sup>利用 Eck 等<sup>[12]</sup>的方法计算 PAR,利用 Goward 等<sup>[13]</sup>的方法计算  $f_{PAR}$ ,成功估算了全球 1984 年 8 月的 A PAR。利用气候模型进行估算,如 Planton 等利用法国气象局的全球气候模型 GCM 来估计 PAR,但结果并不令人满意<sup>[7]</sup>。Pickering 等<sup>[14]</sup>和 Paruelo 等<sup>[9]</sup>利用地面气象数据通过 WeatherMan 程序估算 PAR,效果较好。 $f_{PAR}$  随植被类型及其演替阶段和季节不同而变化。对  $f_{PAR}$  的估算主要通过遥感数据植被指数(VI)与  $f_{PAR}$  的经验公式来确定。

许多研究表明:归一化差植被指数(NDVI)与  $f_{PAR}$  间存在线性关系<sup>[3,4,7,8,15-17]</sup>。一般,高生产力生态系统,其 NDVI 与  $f_{PAR}$  间存在很好的线性关系<sup>[18]</sup>,而低生产力生态系统,因 NDVI 受土壤背景影响而使 NDVI 与  $f_{PAR}$  的关系不明显<sup>[9]</sup>。于是, Ruimy 等<sup>[7]</sup>改进了用 NDVI 来估算  $f_{PAR}$  的方法。Roujean 等<sup>[20]</sup>的研究表明不同的 VI 适合于不同类型的植被。Epiphaniou 等<sup>[21]</sup>还比较研究了传感器视角和太阳天顶角等因子对植被指数 VI 和  $f_{PAR}$  关系的影响。Paruelo 等<sup>[9]</sup>还根据 Potter 等<sup>[22]</sup>和 Ruimy 等<sup>[7]</sup>提出的模型来计算  $f_{PAR}$ 。Field 等<sup>[10]</sup>利用 NDVI 来估计陆地生态系统的 A PAR,并根据由卫星数据获得的近表面浮游植物叶绿素浓度  $C_{sat}$  和水深来估计海洋生态系统的 A PAR,基于此,他们成功地估计了全球的 NPP。

## 1 数据与方法

### 1.1 数据

本文所用的 NOAA-AVHRR NDVI 数据由美国地质调查局(USGS)提供,为 1992-04~1993-03 间 12 个月的最大值合成 NDVI,地面几何分辨率为 1km。NDVI =  $(N_{ir} - R) / (N_{ir} + R)$ ,其中  $N_{ir}$  和  $R$  分别为 AVHRR 第一和第二通道反射率(reflectance)。虽然计算出的 NDVI 值介于 -1.0~1.0 之间,但 USGS 却将其放大到 0~200,即 NDVI<sub>水</sub>, NDVI<sub>雪</sub> 100 为水、云及裸地,NDVI<sub>植</sub> > 100 为植被。

地面气象数据从广东省气象局获得,时间为 1990~1995 年,包括气温、降水和日照等,均匀选择 31 个气象站(图 1),并记录每个气象站的经、纬度和海拔高度。

### 1.2 方法

由于研究地区原始 NDVI 数据未投影,因此,首先对其进行配准(rectification),配准为等角双标准纬线圆锥投影,与 1/1000 000 的广东省政区图投影一致。地面控制点(GCP)选择轮廓清楚的海岸线及内陆水库,控制点的经、纬度数值以 1/50 000 的地形图量算,计选 GCP 23 个,其 RMS 为 0.217(±0.015),即地面控制点的几何误差约在 220m 左右,效果良好。并用 1/1000 000 的广东省政区图的行政边界来选取研究区。

地面 31 个气象站点的 PAR 数据由广泛使用的 WeatherMan 程序算出<sup>[9,14]</sup>。Meinke 等的研究表明 WeatherMan 程序所用算法可以对辐射进行有效估计<sup>[23]</sup>。本研究利用 1990~1995 年 31 站点的地面气象资料生成 1992-04~1993-03 间各月的 PAR。

利用 GIS 软件将各气象站的 PAR 数据转换为栅格数据,栅格几何大小与遥感数据地面分辨率一致,均为 1km。数据转换工作在 ARC/INFO for NT 7.2.1(ERSI, Redland, California)的 TN 模块下进行,工作流程见图 2。对于离散点层(point coverage),ARC/INFO 提供了两条插值途径,一是在生成 tin 的基础上插值,一是直接利用 kriging 程度插值。由于 kriging 程序是根据所选插值方法和条件对离散点 lattice 进行插

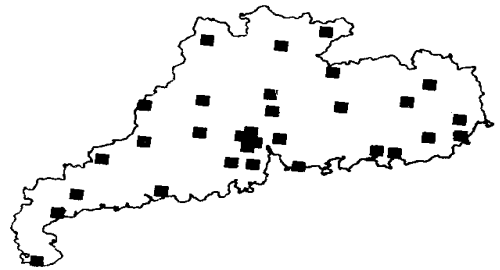


图 1 31 个气象站的位置

Fig 1 The position of 31 meteorological stations

值, 所生成的估计表面(estimated surface)会修正原始观测数据, 因此, 本文的插值方法是在生成 tin 的基础上用 tin spot 程序插值。ARC/INFO 为 tin 表面模型提供了两类插值器(interpolator): LINEAR 和 QUANTIC。LINEAR 插值法认为 tin 由平坦的三角表面所构成, 而 QUANTIC 插值法则认为 tin 的每一个小三角表面均为连续平滑的表面, 并使用二元五次多项式插值算法。由于广东省 PAR 的空间分布是连续平滑的, 因此本文均用 QUANTIC 插值法。最后生成的广东省 PAR 影像(grid), 其投影与 NDVI 的投影完全相同, 以便于数据的融合(merge)与计算。此外, 对于 tin, ARC/INFO 的插值区取决于 tin 的边界(hull)。由于广东省 31 个气象站点所构成 tin 的 hull 并不完全包括广东省全部大陆区域, 因此, 增加周围海南、广西、湖南及福建等省区的尽可能最近的 10 个气象站点的气象数据作为补充, 以对广东省整个大陆地区的 PAR 进行插值。

对于  $f_{PAR}$  的计算分别采用 Potter 等<sup>[22]</sup>和 Ruiny 等<sup>[7]</sup>提出的公式。

Potter 等利用下式计算  $f_{PAR}$ <sup>[22]</sup>:

$$f_{PAR}(x, t) = \min \left[ \frac{SR - SR_{min}}{SR_{max} - SR_{min}}, 0.95 \right] \quad (2)$$

其中  $f_{PAR}(x, t)$  为  $t$  月份象元  $x$  处植被的  $f_{PAR}$ ,  $SR = (1 + NDVI) / (1 - NDVI)$ 。  $SR_{min}$  均设为 1.08,  $SR_{max}$  的大小取决于生态系统类型。根据 Potter 等的观点, 先将广东省大陆区域监督分类为林地和非林地两大生态系统类型, 林地的  $SR_{max}$  取 4.14, 非林地的  $SR_{max}$  取 5.13, 然后利用 (2) 式计算  $f_{PAR}$ 。 Ruiny 等认为  $f_{PAR}$  与 NDVI 间存在以下线性关系<sup>[7]</sup>:

$$f_{PAR}(x, t) = -0.025 + 1.25 \times NDVI \quad (3)$$

对各种类型植被 A PAR 的分析, 均取 9 个或更多的象元 ( $\geq 9 \text{ km}^2$ ) 来代表该类型植被。 研究子区根据文献<sup>[24, 25]</sup>和野外调查来选定。 遥感数据处理在 ER Mapper 5.5 (WIN95 版) 下进行, 统计分析在 SAS 下进行。

## 2 结果与讨论

### 2.1 年 A PAR

植被吸收 PAR 的量取决于两个因素: 植被本身的特征和太阳辐射。 基于 WeatherMan 程序计算了 PAR, 在 GIS 支持下插值生成了广东省的年光合有效辐射 (PAR), 并应用公式 (2) 和 (3) 计算了广东省植被在 1992-04~1993-03 间吸收的 PAR, 即年 A PAR (A PAR) (见彩版 I)。 结果表明: 植被本身的特征对于植被吸收的 PAR 的多少起决定性作用; 而太阳辐射仅对不同地区类型相同(似)的植被影响较大, 并影响着植被吸收 PAR 的季节波动。 其主要原因是广东省陆生植被受人为、自然(地形、河流等)因素的影响而空间差异极大, 裸地几乎不吸收太阳辐射, 而生长良好的植被几乎可以全部吸收所有入射的光合有效辐射; 然而 PAR 主要受太阳及地球大气的影响, 因此, PAR 的地区差异相对较小。 全省的 PAR 约在 1850(广州)~2420(MJ/m<sup>2</sup>a)(汕头地区)之间, 相差约 37%。 利用 WeatherMan 计算的韶关、广州、汕头和中山等地在 1992-04~1993-03 期间的 PAR 分别为 2169.03、1848.19、2422.80 和 2060.2 MJ/m<sup>2</sup>a, 与这些地区在 1975 之前的 9~18a 的多年平均值(分别为 2328.42、2275.64、2638.39 和 2391.98 MJ/m<sup>2</sup>a)相近,

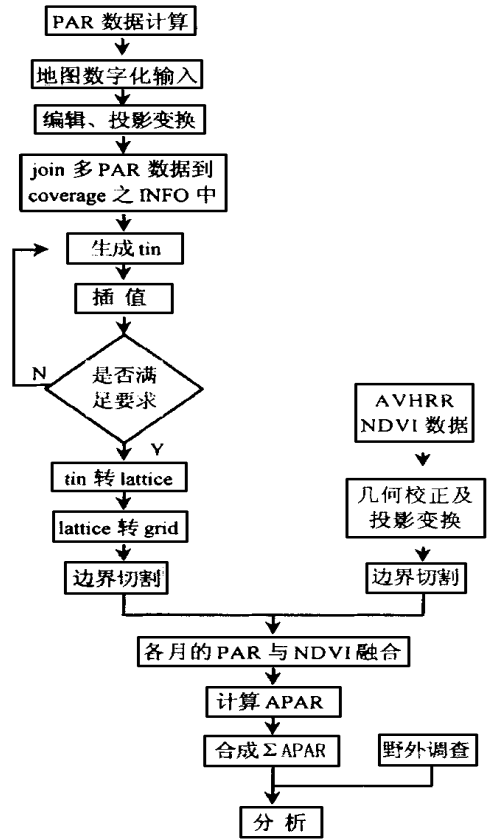


图 2 工作流程图

Fig. 2 Steps to estimate A PAR

差异主要来自 PAR 的年际变化。用公式(2)和(3)两种方法计算的植被吸收的 PAR, 其值的空间变化趋势相同, 大小略有差异。粤中东部(龙门县南部 佛冈 始兴与翁源之间、紫金等)一带的A PAR 值均很高, 河流、水库的值最低, 珠江三角洲地区的值也很低, 雷州半岛北部、粤西的罗定盆地、粤西北的连南、粤北的南雄盆地及粤东的潮汕平原地区较低。公式(2)计算的A PAR 最大值约为 157MJ/m<sup>2</sup>a, 公式(3)计算出的A-PAR 最大值约为 140MJ/m<sup>2</sup>a, 两者相差约 11%。在 Potter 等的模型中, NDVI 0.60 的林地和 NDVI 0.66 的非林地, 其  $f_{PAR}$  为最大值(0.95), NDVI 0.08 的稀疏植被不吸收 PAR。在 Ruimy 等的模型中, NDVI 0.82 的植被 100% 地吸收了全部入射的光合有效辐射, NDVI < 0.02 的稀疏植被吸收 PAR 为 0。虽然 Potter 等和 Ruimy 等的模型均不适合稀疏植被, 且对吸收 PAR 大小的估计也有一定差异, 但根据 AVHRR NDVI 数据及地面气象数据来估算大区域植被的 A PAR 是完全可以的<sup>[9, 10]</sup>。另一方面, 基于大量实测数据, 建立  $f_{PAR}$  与遥感数据随时间、植被类型不同而不同的、准确、有效的关系模型, 将有助于提高对  $f_{PAR}$  的估算精度。由于 Potter 等的模型应用较广<sup>[9, 10]</sup>, 所以, 以下分析均以公式(2)为主。

利用 Potter 等的模型计算的广东省植被吸收 PAR 的最大值约为 157MJ/m<sup>2</sup>a, 全球植被吸收 PAR 的最大值约为 350MJ/m<sup>2</sup>a 左右<sup>[26]</sup>。因此, 即使广东省植被对 A PAR 的利用率与全球生产力最高的植被类型相同, 在 1992-04~ 1993-03 期间, 广东省植被的最高生产力也不及全球最高值的一半。

2.2 年 A PAR 的时空分布

2.2.1 年 A PAR 的空间分异 从彩版 I 可知: 广东省植被的年 A PAR, 以水库、河流为最低, 等于或接近于 0; 其次, 珠江三角洲地区由于其工业发展和对植被的破坏, 再加上农业生产的不足, 因此, 植被年吸收的 PAR 值也很低, 多在 300MJ/m<sup>2</sup>a 以下; 南雄盆地、罗定盆地、粤西北的广大石灰岩地区、雷州半岛北部及粤东平原地区, 植被的年 A PAR 值多在 90MJ/m<sup>2</sup>a 以下; 粤中部偏东地区植被年吸收的 PAR 较高, 多在 100MJ/m<sup>2</sup>a 以上, 最高可达 150MJ/m<sup>2</sup>a 以上。

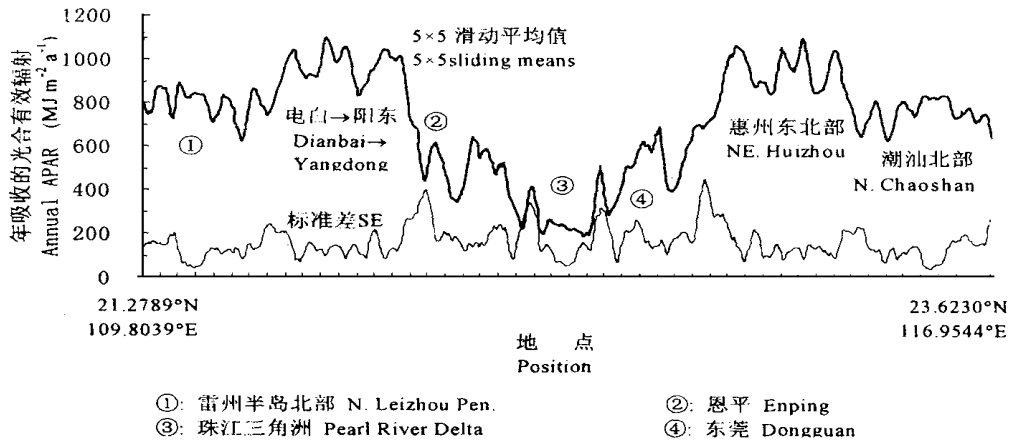


图3 广东省东部近海地区植被的年 A PAR 及其变化

Fig. 3 The traverse of A PAR of the east coastal Guangdong

为说明植被年吸收的 PAR 的空间分异规律, 在广东省等角双标准纬线的投影平面上, 从濂江县西北部作到粤东部饶平县的剖面线, 以 5 × 5 (象元, 即 25km<sup>2</sup>) 的大小取滑动平均值及其标准差, 得图 3。由图 3 可看出: 珠江三角洲地区植被的年 A PAR 的 5 × 5 滑动平均值很低, 其附近广大地区植被的年 A PAR 滑动平均值也较低, 雷州半岛北部及粤东平原地区植被的年 A PAR 的滑动平均值多在 90MJ/m<sup>2</sup>a 以下, 而北纬 22 附近的阳春地区以及海丰、陆河县北部地区植被年 A PAR 的滑动平均值较高, 多大于 90090MJ/m<sup>2</sup>a; 在 5 × 5km<sup>2</sup> 大小的基础上, 若年 A PAR 的标准差越大, 说明植被越破碎, 空间变化越大, 如河流较多的珠江三角洲地区及河流和水库周围附近地区; 基于 1km<sup>2</sup> 的地面几何分辨率和 5 × 5km<sup>2</sup> 的空间范围, 广东省植被吸收

PAR 的空间变化大致有以下几种类型: A PAR 的 5 × 5 滑动平均值波动较小, 同时其标准差也较小, 表明植被吸收 PAR 在 25km<sup>2</sup> 及更大的空间范围内都比较均匀, 变化较小, 如潮汕北部和雷州半岛北部部分地区;

滑动平均值有较大波动, 同时其标准差也较大, 说明植被吸收 PAR 在 25km<sup>2</sup> 及更大的空间范围内都很破碎, 变化很大, 如剖面线经过的恩平和珠江三角洲与周边交界地区; 滑动平均值较大波动, 但其标准差却较小, 这表明植被虽在更大的空间尺度上发生较大的变化, 但在 25km<sup>2</sup> 的范围内却变化不大, 如剖面线经过的电白 阳东和惠州东北部地区。

2.2.2 年 A PAR 随时间的变化 植被在不同季节吸收的 PAR 占年 A PAR 的百分比, 地区差异较大。这表明植被类型不同, 其吸收 PAR 的时间变化也不相同; 对于不同的农业区, 这反映了耕种模式的差异(图 4)。总体来讲, 广东省植被在 1992-04~ 1993-03 的一年时间里, 夏季(7、8、9 月份)吸收的 PAR 所占比重最大, 冬季(1、2、3 月份)所占比重最低, 而秋季所占比重大于春季。夏季植被吸收的 PAR 多在 35% 以上, 粤东大部(如龙川)、雷州半岛大部(如遂溪)以及台山、阳江一带, 所占比重多在 40% 以上, 部分地区甚至 > 50%。冬季吸收的 PAR, 所占比重多在 15% 以下, 珠江三角洲(如中山)和粤北大部分地区(如阳山)的值多小于 8%; 而潮汕大部(如普宁)冬季吸收 PAR 的比重较高, 在 15% ~

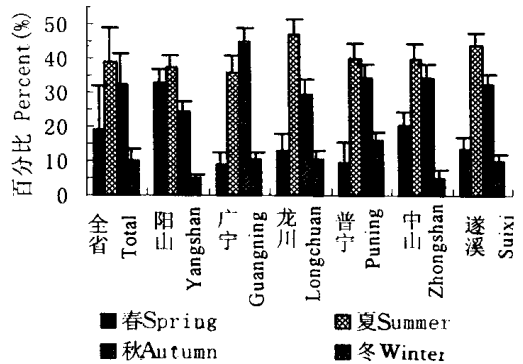


图 4 不同地区植被吸收 PAR 的季节变化(%)  
Fig. 4 Seasonal course of the A PAR for the different area (%)

32% 之间。普宁等地冬季吸收 PAR 远大于春季所占比重, 这与珠江三角洲地区的中山形成鲜明对比, 显示出农业耕种模式的差异。粤北广大地区植被吸收的 PAR, 春季所占比重多在 30% 以上, 与其余地区明显不同, 特别是连南、阳山、仁化、乐昌、韶关、乳源一带及南雄盆地等地, 这一特征更为显著。其原因还有待进一步研究。在秋季(10、11、12 月份), 肇庆以西的大部分地区和粤中部分地区, 植被吸收的 PAR 所占比重较大, 均不小于夏季所吸收的 PAR, 如广宁; 而粤北大部地区植被秋季所吸收的 PAR 所占比重全省最低, 多在 25% 以下。

2.3 PCA 分析

对广东省 12 个月植被吸收的 PAR 作 PCA 分析, 表明(表 1): 全省植被 A PAR 的年变化主要与两个主成分有关。第一主成分的特征根为 5.954, 单独说明了全省 A PAR 原始数据逐月标准总变异的 69.46%, 年内各月负荷量均为正, 除 1992-06 的值较低外, 其余各月份的值都相差不大, 反映了植被吸收 PAR 的总特征。并且, 全省同一地区 A PAR 的 PC1 值与该地区的年 NDVI 之间有很强的相关关系( $r = 0.8532, P < 0.01$ )。理论与实践均表明 NDVI 与植被年净第一性生产力 ANPP 密切相关<sup>[9, 18]</sup>, 故, A PAR 与 NPP 间也应有强相关关系。由此可进一步研究植被的净第一性生产力 NPP 和光能转化率。

表 1 APAR 数据 PCA 分析的前两个主成分之负荷量

Table 1 Loadings for the first two components of the PCA of the APAR data

时间 Time	1992-04	1992-05	1992-06	1992-07	1992-08	1992-09	1992-10	1992-11	1992-12	1993-01	1993-02	1993-03	特征根 Eigenvalue	总信息比(%) Proportion
PC1	0.196	0.152	0.097	0.288	0.301	0.288	0.366	0.378	0.321	0.356	0.357	0.194	5.954	69.46
PC2	-0.494	-0.141	-0.660	-0.153	-0.227	-0.028	-0.047	0.146	0.306	0.240	0.128	0.183	1.483	17.30

第二主成分的特征根为 1.483, 能解释广东省植被 A PAR 年变化总变异的 17.30%, 并且, 冬半年(1992-11~ 1993-03)表现为正载荷, 夏半年表现为负载荷, 反映了气候对植被吸收 PAR 的影响, 影响最大的是 1992-06 和 1992-04。

决定广东省植被年 A PAR 时空格局的根本原因在于植被自身的特征, 其次是太阳辐射的时空变化。

2.4 不同类型植被对 PAR 的吸收

本文每一植被类型的研究子区大小均 $\geq 9\text{km}^2$ 。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、罗定莘塘),草丛 G(罗定黎少),农业生态系统 AE(中山、南雄盆地、潮汕平原),城市生态系统 CE(广州和韶关)。方差分析的线性多项式比较表明:对于植被年吸收的 PAR,除选中的原生常绿阔叶林 Ea 和长势较好的次生常绿阔叶林 Eb 之间无显著差异外,其余各大类型之间差异显著( $p = 0.05$ )。年吸收 PAR 最多的是长势良好的人工常绿阔叶林(桉林),值为  $1430.6 (\pm 125.5)\text{MJ}/\text{m}^2\text{a}$ ,余下依次是原生常绿阔叶林 Ea ( $1254.6 \pm 97.5$ )和长势较好的次生常绿阔叶林 Eb ( $1224.7 \pm 85.1$ ) > 竹林 Ed ( $1004.2 \pm 33.2$ ) > 针叶树成熟林 Ca ( $953.4 \pm 92.2$ ) > 针叶树幼林 Cb ( $663.6 \pm 61.0$ ) > 灌丛 S ( $569.9 \pm 36.8$ ) > 草丛 G ( $493.1 \pm 49.7$ ) > 农业生态系统 AE ( $472.2 \pm 146.9$ ) > 城市生态系统 CE ( $181.0 \pm 118.4$ ) ( $p = 0.05$ ) (图 5A) 并且,若不考虑常绿阔叶林,则无论是用最小显著性差法 (least-significant-difference) 还是 Duncan 法的均值多重比较都表明,仅阳山东山灌丛、罗定莘塘灌丛、南雄盆地农业生态系统和潮汕平原农业生态系统等之间,以及韶关城市生态系统与中山农业生态系统之间无显著差异外,其余所有各个取样地之间均有显著差异 ( $p = 0.05$ )。

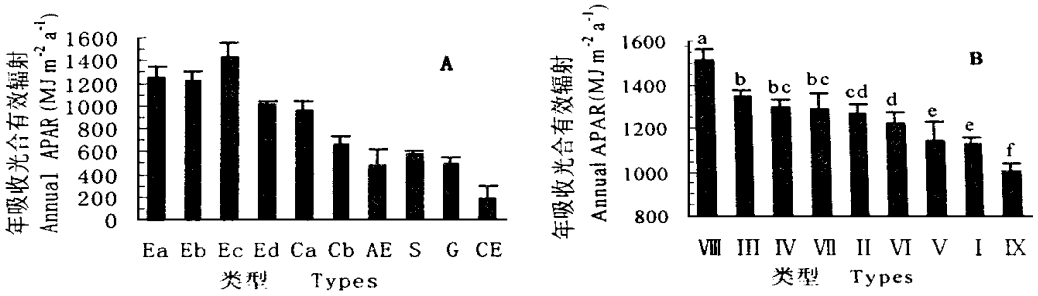


图 5 各类型植被年 APAR 之比较 ( $\text{MJ m}^{-2} \text{a}^{-1}$ )

Fig 5 Annual Integral APAR of different vegetation ( $\text{MJ m}^{-2} \text{a}^{-1}$ )

A: 各大类 different types; B: 常绿阔叶林 different evergreen broadleaf forests; 不同字母表示差异显著 ( $p = 0.01$ ) different letters indicate significant differences ( $p = 0.01$ )

常绿阔叶林吸收 PAR, 总体来讲, 其年变化呈明显的双峰型(图 6), 以 7、10 月份吸收的 PAR 最多。这反映出亚热带常绿阔叶林能量利用及其生长发育的规律。

对常绿阔叶林年吸收的 PAR 进行方差分析, 结果表明, 即使是原生常绿阔叶林, 其年吸收的 PAR 量也有显著差异(图 5B) ( $p = 0.01$ , 下同)。丰溪常绿阔叶林年吸收 PAR 值很高 ( $1343.3 \pm 34.7\text{MJ}/\text{m}^2\text{a}$ ); 黑石顶常绿阔叶林吸收的 PAR 较低 ( $1128.0 \pm 30.9$ ), 仅比广宁竹林 ( $1004.2 \pm 33.2$ ) 高, 与广州太和帽峰山的以黎蒴 (*Castanopsis fissa*) 为主的长势较好的次生常绿阔叶林 ( $1139 \pm 92.3$ ) 无显著差异。阳江林场桉林年吸收的 PAR 量最高 ( $1515.7 \pm 49.3\text{MJ}/\text{m}^2\text{a}$ ), 极显著高于所有其他类型的常绿阔叶林 ( $p = 0.01$ )。所有这些都显示, 人工常绿阔叶林和长势良好的次生常绿阔叶林完全可能与原生常绿阔叶林具有相同甚至更高的吸收太阳辐射的能力, 从而具有更高的光能利用率和 NPP。

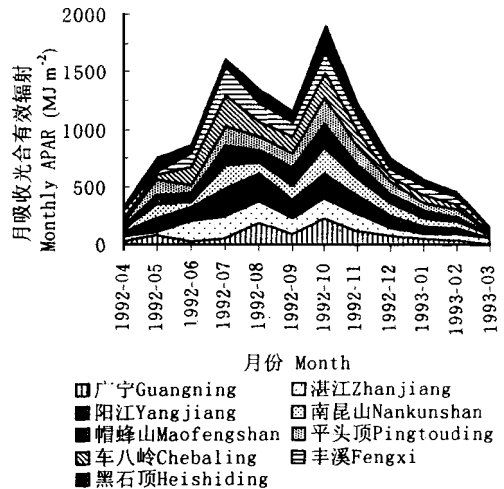


图 6 不同常绿阔叶林 APAR 的年变化

Fig 6 Monthly courses of the PAR absorbed by the different evergreen broadleaf forests