

# 华北平原光合有效辐射的气候学计算方法

王炳忠 税亚欣  
(气象科学研究院)

## 提 要

通过北京、烟台、郑州、济南等地生长季内对总日射( $Q$ )和光合有效辐射( $Q_{PAR}$ )的连续自动记录,发现 $Q_{PAR}/Q$ 值是比较稳定的,季节和云量对其影响不大。而太阳高度角较低时此值的变化,主要由仪器的余弦响应所引起。以目前总日射表的制造水准尚无法解决余弦响应的干扰问题。通过对实测资料的分析,得到了适合我国华北平原地区的计算公式为 $Q_{PAR}=0.42Q$ 。过去国外的计算结果系统偏高,本结果与国内最新研究成果相一致。

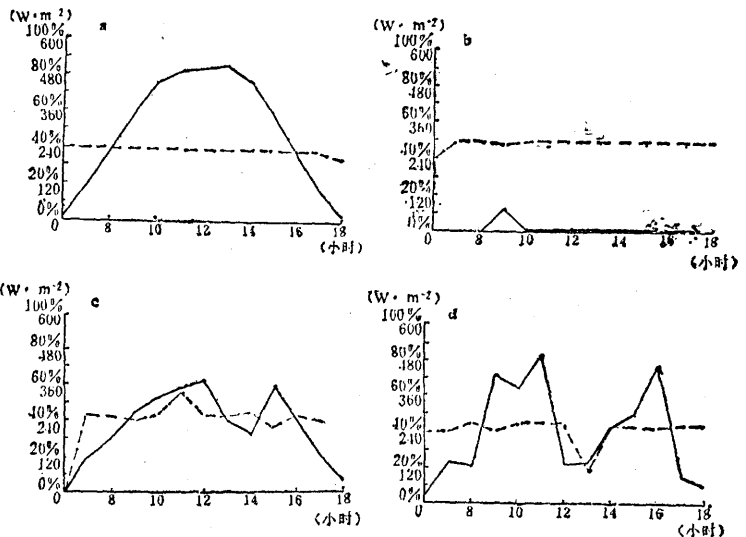
80年代初期,《气象》曾刊登过有关华北地区光合有效辐射测量的文章<sup>[1, 2]</sup>。国外也有类似的报道<sup>[3, 4]</sup>。总的说来,给人的印象是,影响 $Q_{PAR}/Q$ 的因素较多,对能否得出统一的公式尚有疑问。

我们考虑,出现这种情况,除了客观因素外,观测用的仪器和方法也是个重要的根源。首先,对光合有效辐射的波长范围,就有两种意见:苏联学者认为是 $0.38-0.71\mu\text{m}$ ,而西方学者则大多倾向于 $0.4-0.7\mu\text{m}$ 。波长范围不同,势必影响到仪器的构造和性能,而就太阳光谱辐射本身而论,这两种波长范围就会带来2—3%的变化。其次,正如文献<sup>[2]</sup>所指出的,“用瓦(应为瓦/米<sup>2</sup>)表示农田辐射强度(应为辐照度)时,可见光波段光谱组成不同,能量相同时对应的量子数并不同”。众所周知,在大气光学质量不同的情况下,太阳的光谱组成恰恰是不同的。第三,这两次实地测量的仪器和观测方法文中未详细介绍。

比较理想的观测方法是,由两名观测员同时分别对 $Q_{PAR}$ 和 $Q$ 进行读数,但长期坚持是有困难的。不过,在天空状况少变的情况下,可对 $Q_{PAR}$ 和 $Q$ 进行顺序观测;但当天空状况多变时顺序观测就有问题了。

综上所述,我们觉得有必要再次进行实测。1984年,我们购进了少量

LI-190SEB光合有效辐照度传感器。此仪器的特点是通过二次仪表可直接给出光合有效辐射的辐照度值来,其波长范围是 $0.4-0.7\mu\text{m}$ ,响应时间 $10\mu\text{s}$ 。通过与国产总日射表相配合,对一些典型天气的观测发现,情况并非如想像的那样复杂,还是很有规律性的(附图)。由附图可看出,无论是在全晴天、全阴天或多云的情况下,从早到晚 $Q_{PAR}/Q$ 值是相当稳定的。当然,附图中也有不符合一般规律的现象。这可能是由传感器的性能造成的。因为一般热电式的传感器其响应时间无论如何也赶不上光电式的LI-190SEB。目前世界上最好的热电式传感器产品的响应时间也在1—2秒之间,这与



附图 北京各种天气状况下的总日射(实线)和光合有效辐射与总日射比值(虚线)的日变曲线  
a.全日晴 b.全日阴 c.晴间多云 d.晴间多云

的 $\mu_s$ 级是无法相比的,何况我们采用的DFY-2总日射表的响应时间为25秒。因此,当太阳辐射快速变化时,LI-190SEB已经响应,而总日射表尚来不及响应,就会造成瞬间读数间的差异,这种差异可大可小,可正可反,是形成 $Q_{PAR}/Q$ 值变化的主导因素。采用小时累计量可克服这种弊端。

我们所用的二次仪表是自动日射记录仪。它可自动记录每小时正点时刻的辐照度和每小时的辐射总量,也可由人工观测任意时刻的两个通道的不同种类的辐照度,准确度 $\leq \pm 1\%$ 。仪器对两通道的自动扫描时间在一秒以内,所以可以认为做到了完全同步观测。

为了进一步验证上述观测结果,特选定了北京、郑州、烟台和济南等4个站,于1985年内开展了平行对比观测。观测前,曾请计量部门对传感器进行了检定,结束后又再次校准。发现除济南站的总日射表灵敏度有较大的变化外,其余三站仪器灵敏度的变化均在 $\pm 2\%$ 以内,符合WMO有关日射仪器分

级标准的规定。

由于仪器故障、维修等方面的原因,各站观测时段的起止时间不完全一致。但在3—9月的生长季内是统一的。故以此作为分析的基础。对所获资料均按以下几种方式进行统计:

1.  $Q_{PAR} = KQ$ , 其中K值为比例系数,采用三种方法计算:

$$K_1 = \frac{1}{n} \sum \frac{Q_{PAR}}{Q}$$

$$K_2 = \sum Q_{PAR} / \sum Q$$

$$K_3 = \sum Q \cdot Q_{PAR} / \sum Q^2$$

$$2. Q_{PAR} = a + bQ$$

$$3. Q_{PAR} = b_0Q + b_1Q^2 + b_2Q^3$$

式中a、b、 $b_0$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ 各系数按最小二乘法确定,n为次数。

为了避免系数的变化幅度大,我们采用了小时量。这也是过去观测所不能达到的。从北京、烟台、郑州三站统计结果(表1)看,各系数的日变程均相当平稳。至于早晚太阳

表1 北京、烟台、郑州各站各系数的分时统计

时间(小时)		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	6-18	$\sigma_{6-18}$	
烟台	$K_1$	0.44	0.41	0.42	0.43	0.44	0.47	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.43	0.44	0.0138	
	$K_2$	0.40	0.40	0.41	0.42	0.42	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.44	0.43	0.43	0.43	0.0125	
	$K_3$	0.39	0.40	0.41	0.42	0.42	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.44	0.43	0.43	0.43	0.0142	
	b	0.39	0.40	0.40	0.41	0.41	0.40	0.41	0.41	0.41	0.42	0.42	0.43	0.43	0.42	0.0119	
	a	1.5	0.7	6.2	16.5	33.4	79.4	53.8	55.8	47.3	30.2	18.2	0.5	-1.4	8.2		
	$b_0$	0.44	0.41	0.42	0.43	0.44	0.47	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.43	0.44	0.0138
	$b_1 \times 10^4$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	$b_2 \times 10^6$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	n	107	144	153	156	157	150	150	150	148	152	151	148	150	146	1920	
	北京	$K_1$	0.41	0.43	0.43	0.42	0.43	0.43	0.43	0.42	0.42	0.41	0.42	0.41	0.41	0.42	0.0056
$K_2$		0.41	0.41	0.41	0.42	0.42	0.42	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.40	0.39	0.41	0.0082
$K_3$		0.41	0.41	0.41	0.42	0.42	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.40	0.40	0.39	0.41	0.0080	
b		0.41	0.41	0.40	0.41	0.41	0.40	0.40	0.40	0.40	0.39	0.39	0.39	0.38	0.37	0.41	0.0125
a		-0.5	2.8	8.5	9.7	17.4	30.1	28.4	31.6	35.6	26.3	20.0	15.4	7.9	6.6		
$b_0$		0.41	0.43	0.43	0.42	0.43	0.43	0.43	0.42	0.42	0.41	0.42	0.41	0.41	0.42	0.0086	
$b_1 \times 10^4$		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
$b_2 \times 10^6$		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
n		77	126	137	135	143	144	145	143	146	145	142	142	134	1749		
郑州		$K_1$	0.33	0.38	0.40	0.40	0.41	0.41	0.42	0.41	0.41	0.41	0.40	0.40	0.35	0.40	0.0253
	$K_2$	0.37	0.39	0.40	0.40	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.40	0.39	0.36	0.40	0.0164	
	$K_3$	0.40	0.39	0.40	0.40	0.41	0.41	0.40	0.41	0.41	0.40	0.39	0.39	0.37	0.41	0.0114	
	b	0.42	0.40	0.40	0.40	0.42	0.42	0.38	0.39	0.39	0.39	0.38	0.38	0.40	0.41	0.0148	
	a	-11.2	-10.1	3.6	1.2	-19.5	-24.8	74.6	54.6	-28.6	25.4	21.9	3.2	-10.3	-4.8		
	$b_0$	0.33	0.38	0.40	0.40	0.41	0.41	0.42	0.41	0.41	0.41	0.40	0.40	0.35	0.40	0.0263	
	$b_1 \times 10^4$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	$b_2 \times 10^6$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	n	52	65	69	71	69	69	71	71	71	71	68	65	56	40	845	

高度角较低时的系数变化,看来应从传感器的余弦响应偏差较大去考虑。因为即使是一级总日射表,按WMO的有关规定余弦响应也允许存在 $\pm 7\%$ 的偏差。至于云量的影响,表2中的数据只能说明其影响的作用是微弱的。由此不难推测,各系数将不随季节有

较大的变动,表3也证实了这一点。

那么,在这几种统计方法中有无优劣呢?表1—表3的资料均表明, $Q_{PAR}$ 与Q之间的关系不会是曲线,因为 $b_1$ 与 $b_2$ 的值均极小,实际上可认为等于零。从道理上讲, $Q_{PAR}$ 与Q之间的相关直线理应通过坐标原点,否则

表2 北京站各系数按晴、曇、阴分类标准的统计结果

云量	0-2	3-7	8-10	0-10
$K_1$	0.406	0.412	0.430	0.420
$K_2$	0.406	0.409	0.418	0.410
$K_3$	0.407	0.411	0.414	0.410
b	0.410	0.414	0.408	0.406
a	-7.2	-7.9	10.9	6.6
$b_0$	0.406	0.412	0.430	0.420
$b_1 \times 10^4$	0.00	0.00	0.00	0.00
$b_2 \times 10^4$	0.00	0.00	0.00	0.00
n	613	196	940	1749

将意味着即使在无日射的情况下，还会存在某些光合有效辐射（当 a 值为正时）。当然，这是不可能的。各站资料综合统计的结果表明，a 值是不大的。当然，只能认为这是硬性统计的结果。实际上，较小的 a 值意味着直线应当通过原点。

在第一种统计方法中， $K_2$ 、 $K_3$  实际上也是按最小二乘法原则求得的，因此优于  $K_1$ 。表 1 中的  $\sigma$  是计算 6—18 时各系数值时求得的均方差，也可证明上述观点。

鉴于各传感器校准的绝对误差，一般均在 3—5% 以内，故可以认为北京、烟台、郑州等三站之间的差异是不显著的，完全可放在一起处理。结果是  $K_1 = 0.42$ ， $K_2 = 0.42$ ，

表3 北京站各系数分月份的统计结果

月份	3	4	5	6	7	8	9	3-9
$K_1$	0.40	0.40	0.43	0.43	0.42	0.43	0.45	0.42
$K_2$	0.40	0.40	0.42	0.42	0.41	0.42	0.42	0.41
$K_3$	0.40	0.40	0.42	0.41	0.41	0.42	0.41	0.41
b	0.40	0.40	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
a	-0.8	-1.0	12.4	12.9	3.7	7.3	16.2	6.6
n	314	325	247	132	274	157	300	1749

$K_3 = 0.42$ ， $b = 0.41$ ， $a = 4.6$  ( $n = 4514$ )。所以，我们最后得到： $Q_{PAR} = 0.42Q$ 。应当指出，这与周允华等通过其他方式的测量结果所推导出来的结论<sup>[5]</sup>和国外最新的研究成果<sup>[6]</sup>是很接近的。

#### 参考文献

- [1] 刘洪顺，光合成有效辐射的观测和计算，气象，1980年，第6期，5—6。  
 [2] 董振国、于沪宁，农田光合有效辐射观测与分析，气象，1983年，第7期，23—25。  
 [3] McCree, K. J., A Solarimeter for measuring

Photosynthetically active Radiation, Agric. Meteor., 3, 353—366, 1966.

- [4] Szeicz, G., Solar Radiation for Plant Growth, J. Appl. Ecology, 11, 617—636, 1974.  
 [5] 周允华、项月琴、单福芝，光合有效辐射 (PAR) 的气候学研究，气象学报，42，第4期，387—397，1984。  
 [6] Howell, T. A., Meek, D. W. and Hatfield, J. L., Relationship of photosynthetically active radiation to shortwave radiation in the San Joaquin Valley. Agric. Meteor. 28, 157—175, 1983.

## On the measurements and calculation of the photosynthetically active radiation (PAR)

Wang Bingzhong, Shui Yaxin

(Academy of Meteorological Science SMA)

### Abstract

From the long-term continuous automatic observation to the global solar radiation Q and PAR  $Q_{PAR}$  in Beijing, Yantai, Zhengzhou and Jinan during the growth period, it is discovered that the value of  $Q_{PAR}/Q$  is about stable. The effect of the season and cloud amount to it is nominal. The variation at the lower solar elevation is caused by the cosine response of the instrument. The current instrument manufacturing technique can not satisfy the need of the study on effect of the solar elevation on  $Q_{PAR}/Q$ . The analysis of the observation data gives that some formula parameters in abroad is higher, the computation formula  $Q_{PAR} = 0.42 Q$  which suitable to the east plain in China is obtained.