

关于光合有效辐射的新实验结果

王炳忠 税亚欣

(国家气象局气象科学研究所)

提 要

通过成都、昆明、广州等地生长季节内对总日射(Q)和光合有效辐射(Q_{PAR})的长期连续自动同步观测发现,以小时累计量为基础的 Q_{PAR}/Q 比值仍比较稳定,季节、云量以及太阳高度的日变化对其影响不大。这与我们以前在华北平原的研究结论是一致的。并有随纬度降低而略增的趋势。

一、引 言

植物的光合作用是在植物叶子选择吸收辐射能的情况下进行的,在此过程中,形成了占干物质90—95%的有机物。植物生理学者们曾以实验的方式证明了叶绿素吸收太阳辐射的最大值与光合作用效率的光谱最大值是一致的,光合作用的强度从红光经过黄光到绿光不断下降,但在蓝光或紫光区又有所增强,形成次峰。大量研究确定,植物可以在没有紫外线和红外线的0.40—0.70 μm 的波长范围内正常地生长和发育,因为正是该波长范围内的量子能使叶绿素分子处于激发状态,并将自己的能量消耗在形成处于还原形式的有机化合物上。因此,这决定着最重要生理学过程——光合作用、色素合成、光周期现象和其它现象的光谱区,被称为生理有效区,该光谱段的辐射称为光合有效辐射。

尽管光合有效辐射可以通过光合有效辐射表进行测定,但是,由于这种仪器较少,除个别实验站外,一般都没有条件直接获取光合有效辐射的数据,更不用说光合有效辐射资料的资料了。所以,在农业气候学中,通常均采用按总日射推算光合有效辐射的间接方法。所谓间接方法,当然也是建立在实地测量的基础之上的。

1985年,我们曾在华北平原的4个站点上进行过将近一年的 Q 和 Q_{PAR} 的长期连续性观测,分析结果我们已经做过报道^[1,2]。其代表性如何?由于我国地域辽阔,地势复杂,气候多样,不经过实地观测很难推断。

根据我们观测实践的经验,最好的方法是将 Q 和 Q_{PAR} 的积分量,例如小时量进行比较,这样可以避免瞬间快速变化或仪器本身的响应时间不一造成的误差。倘若用瞬间量进行比较,则最好采用同步观测,即同时读取 Q 和 Q_{PAR} 值。上述两种方法用双通道自动记录仪是容易实现的。

二、仪器和观测

我们采用的光合有效辐射表是美国 LI-COR 公司生产的 LI-190SEB 型光合有效辐射传感器,所有传感器出厂时均统一调整其灵敏度到 $10\text{mV}/1000\text{Wm}^{-2}$ 。这样,就可以从二次仪表上直接读取光合有效辐射值了。图1是该型号传感器的光谱响应曲线,图中虚线是理想的光谱响应曲线,实线是实际的,二者之间的吻合程度是现有商品出售的这类仪器中最好的。

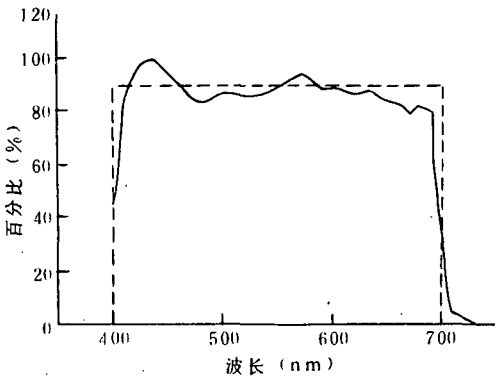


图1 LI-190SEB 的光谱响应曲线
(虚线为理想曲线,实线为实际曲线)

通过华北平原4个站点的观测实践我们发现,长春气象仪器厂生产的 DFY-2型天空辐射表不适用于连续记录的场合,有的感应面会由于长期曝晒而变得不平整,甚至翘起。我们改用了锦州322研究所生产的 TBQ-2型总日射表,其性能可参阅文献[3]。

自动记录仪器采用的是北京太阳能研究所制造的 BTY-8506型多功能太阳辐射测试仪。这种仪器的测量准确度在 $\pm 2\%$ 以内。

仪器分别设置在成都、昆明和广州3个站,由站上观测人员于每日日出前打开仪器电源开关,并按当地真太阳时设定仪器时钟和揩净传感器外表面。自动记录仪便将每小

时的辐射累计量和日总量存储起来,瞬间量则随时映在数码管上。日落后,由观测员操作仪器将存储起来的 Q 和 Q_{PAR} 的逐时累计量和日总量抄入表中,最后切断电源。对于瞬间量,我们未要求进行测量。因为两种传感器的时间常数相差达几个数量级,可比性差,特别是在辐射多变的情况下。

观测原计划从1987年3月初开始至1988年2月底结束。由于供电、仪器故障等原因造成一些缺测,最后得到资料完整的时段为3月至10月(广州只有2个月),这正是农作物的生长季,也是我们最感兴趣的时段。

全部传感器在投入试验观测前都经过统一校正,本次试验期间的测量准确度起码与一般日射站的相当。

三、观测资料的分析

我们将各站所得到的观测数据均按下列5种方法进行了统计计算:

$$(1) R_1 = \frac{1}{n} \sum \frac{Q_{PAR}}{Q}$$

$$(2) R_2 = \frac{\sum Q_{PAR}}{\sum Q}$$

$$(3) Q_{PAR} = KQ, K = \frac{\sum Q \cdot \sum Q_{PAR}}{\sum Q^2}$$

$$(4) Q_{PAR} = a + bQ$$

$$(5) Q_{PAR} = b_0Q + b_1Q^2 + b_2Q^3$$

式中 Q 和 Q_{PAR} 均以小时累计量参加统计, a, b, b_0, b_1 和 b_2 均依原始数据按最小二乘法求得。

各站各种系数的分时统计结果, 如表1所列。通过对表1中的数据分析, 我们可得出以下几点结果:

表1 各站各系数的分时统计结果

地点	时段	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	6-18
成	R_1	0.46	0.45	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.43	0.44	0.45	0.47	0.47	0.445
	R_2	0.44	0.43	0.43	0.43	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.43	0.44	0.45	0.426
	K	0.43	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.44	0.44	0.420
	b	0.41	0.41	0.40	0.40	0.40	0.40	0.41	0.41	0.41	0.41	0.43	0.41	0.410
	a	2.2	3.8	5.6	7.2	8.9	9.5	8.2	6.9	4.4	3.5	1.5	2.2	4.5
	b_0	0.46	0.45	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.43	0.44	0.45	0.47	0.47	0.445
都	$b_1 \times 10^{-4}$	-0.015	-0.003	-0.001	-0.001	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.001	-0.001	-0.003	-0.017	0.010
	$b_2 \times 10^{-8}$	-0.960	-0.092	-0.026	-0.011	-0.006	-0.004	-0.004	-0.004	-0.008	-0.026	-0.102	-1.062	-0.010
	n	160	205	206	212	215	216	216	217	217	215	200	142	2421
昆	R_1	0.41	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44	0.45	0.45	0.45	0.44	0.44	0.40	0.445
	R_2	0.41	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44	0.44	0.44	0.45	0.44	0.43	0.40	0.443
	K	0.41	0.47	0.45	0.44	0.44	0.44	0.43	0.44	0.44	0.45	0.43	0.41	0.440
	b	0.41	0.46	0.45	0.44	0.44	0.43	0.41	0.42	0.43	0.45	0.44	0.43	0.434
	a	-0.3	1.3	2.4	1.9	3.5	8.0	14.8	13.5	7.1	-1.4	-0.5	-2.2	3.5
	b_0	0.41	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44	0.45	0.45	0.45	0.44	0.44	0.40	0.445
明	$b_1 \times 10^{-4}$	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	0.000	-0.000	0.005	0.008
	$b_2 \times 10^{-8}$	-0.001	0.001	-0.003	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.003	-0.003	-0.001	-0.009	0.151	-0.001
	n	10	198	199	201	202	202	202	199	201	197	195	162	2168
广	R_1	0.39	0.43	0.45	0.46	0.47	0.47	0.46	0.46	0.46	0.45	0.43	0.42	0.448
	R_2	0.41	0.44	0.45	0.45	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.45	0.44	0.44	0.453
	K	0.42	0.44	0.44	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.44	0.44	0.451
	b	0.43	0.44	0.44	0.44	0.44	0.43	0.44	0.45	0.45	0.45	0.44	0.47	0.448
	a	-1.2	0.0	1.4	3.3	7.2	8.7	7.4	4.2	2.3	1.2	0.0	-1.6	1.3
	b_0	0.39	0.43	0.45	0.46	0.47	0.47	0.46	0.46	0.46	0.45	0.43	0.42	0.448
州	$b_1 \times 10^{-4}$	0.012	0.001	-0.000	-0.000	-0.001	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	0.000	0.002	0.050	0.007
	$b_2 \times 10^{-8}$	0.825	0.076	-0.009	-0.009	-0.008	-0.006	-0.004	-0.003	-0.002	0.014	0.123	5.885	0.004
	n	33	39	42	43	44	44	44	44	44	43	39	24	487

(1)同华北平原的情况相仿,各站各种系数的日变化都不大,尽管广州只有2个月的观测资料,其各系数的日变规律与其他地区没有差异。

(2)早、晚两时段的系数有较大的变化,非属自然规律。主要是两种辐射仪器的余弦响应所引起。按WMO对日射仪器分类的规定,即使是一级总日射表,在太阳高度角小于 10° 的范围内,也允许存在 $\pm 7\%$ 的偏差^[4]。

(3)由于表1所刊载的资料是对各月份、各种天气条件和云量下的综合统计结果,可以据此推论,与平均云量关系是很小的。这一点从表2所列的数据可以更清楚地看出。各月之间的系数虽有不同,但同云量或日照百分率对照起来,则看不出它们之间有什么关系。以昆明站为例,那里由于受西南季风的影响,干湿季节分明,6月份进入雨季,云量大增,但各系数在此前后并无明显变化。

表2 各站各系数的分月统计结果

地点	月份	3	4	5	6	7	8	9	10	3—10
成	R_1	0.46	0.44	0.43	0.47	0.45	0.44	0.45	0.43	0.44
	R_2	0.44	0.42	0.41	0.45	0.43	0.42	0.42	0.40	0.43
	K	0.43	0.41	0.41	0.43	0.43	0.42	0.42	0.40	0.42
	b	0.42	0.40	0.40	0.41	0.42	0.41	0.41	0.39	0.41
	a	3.6	5.4	5.4	9.2	3.5	5.6	3.8	2.8	4.5
	b_0	0.46	0.44	0.43	0.47	0.45	0.44	0.45	0.43	0.44
	$b_1 \times 10^{-4}$	-0.001	-0.001	-0.000	-0.001	-0.000	-0.001	-0.001	-0.001	0.010
	$b_2 \times 10^{-8}$	-0.013	-0.009	-0.007	-0.014	-0.006	-0.008	-0.018	-0.036	-0.010
	n	267	303	322	316	333	342	292	246	2421
	云量	8.7	7.1	8.7	9.2	8.2	8.7	9.1	9.2	
日照%	32	37	29	21	34	33	20	22		
都	R_1	0.42	0.44	0.45	0.46	0.45	0.45	0.45	0.44	0.44
	R_2	0.42	0.44	0.45	0.46	0.45	0.44	0.44	0.43	0.44
	K	0.42	0.44	0.45	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.44
	b	0.41	0.43	0.44	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.43
	a	2.2	3.5	4.4	2.7	1.7	6.5	4.5	6.0	3.5
	b_0	0.42	0.44	0.45	0.46	0.45	0.45	0.45	0.44	0.44
	$b_1 \times 10^{-4}$	-0.000	0.000	-0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	0.008
	$b_2 \times 10^{-8}$	-0.002	0.002	0.000	0.001	0.000	-0.004	-0.006	-0.003	-0.001
	n	104	291	324	299	308	262	286	294	2168
	云量	3.7	5.7	3.8	8.3	8.9	8.5	9.1	5.6	
日照%	75	60	75	29	19	20	18	53		
明	R_1	0.42	0.44	0.45	0.46	0.45	0.45	0.45	0.44	0.44
	R_2	0.42	0.44	0.45	0.46	0.45	0.44	0.44	0.43	0.44
	K	0.42	0.44	0.45	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.44
	b	0.41	0.43	0.44	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.43
	a	2.2	3.5	4.4	2.7	1.7	6.5	4.5	6.0	3.5
	b_0	0.42	0.44	0.45	0.46	0.45	0.45	0.45	0.44	0.44
	$b_1 \times 10^{-4}$	-0.000	0.000	-0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	0.008
	$b_2 \times 10^{-8}$	-0.002	0.002	0.000	0.001	0.000	-0.004	-0.006	-0.003	-0.001
	n	104	291	324	299	308	262	286	294	2168
	云量	3.7	5.7	3.8	8.3	8.9	8.5	9.1	5.6	
日照%	75	60	75	29	19	20	18	53		

(4)上列5种计算公式中,前3种没有本质上的区别,只是具体的统计方法不同。其中第3种计算公式是建立在最小二乘法基础上的,故偏差最小。第4种公式中的系数 a 较小,是

有不够合理的一面,这可能是由于统计中的问题。至于第5种公式,由于系数 b_1 和 b_2 的数值极小,实际上排除了 Q_{PAR} 与 Q 之间存在曲线关系的可能性。

(5)关于各地之间系数值不一的问题,就 K 值而论,经统计检验,似有随地理位置南移略呈增加的趋势(广州只有2个月的资料,系数如下:4月: R_1 0.443, R_2 0.448, K 0.445, n 258;5月: R_1 0.453, R_2 0.457, K 0.456, n 229;)。由于差异毕竟很小,也不能排除是仪器性能变化导致的。

四、结 论

1. 各地的 Q_{PAR}/Q 值基本上是常量,平均云量、季节、天空状况等对其无明显影响。
2. 该比值的计算方法以最小二乘法最优(K 值),它有随纬度降低而上升的趋势。但总体讲, K 值的地域变化不大,充其量在0.42—0.44范围内。
3. 国外有关文献推荐的 K 值普遍偏高^[5-7],引用到我国时宜慎重。 K 值与文献[8]的理论结论完全一致。

参 考 文 献

- [1] 王炳忠、税亚欣,华北平原光合有效辐射的气候学计算方法,气象,13,20—22,1987。
- [2] 王炳忠、税亚欣,关于光合有效辐射的气候学计算问题,太阳能学报,9,59—65,1988。
- [3] 白素莲,TBQ-2型总日射表的研制,太阳能学报,8,188—195,1987。
- [4] Guide to Meteorological Instrument and Observing Practices,5th ed.,WMO No. 8,TP. 3, Geneva,1982.
- [5] Yocum,C. S., et al.,Photosynthesis under field conditions, VI. Solar radiation balance and photosynthetic efficiency, *Agronomy J.*, 56,249—253,1964。
- [6] McCree,K. J., A solarimeter for measuring photosynthetically active radiation, *Agri. Meteor.*, 3,353—366,1966.
- [7] Britton,C. M. et al., Relationships of Photosynthetically active radiation and shortwave irradiance, *Agri. Meteor.*, 17,1—17,1976.
- [8] 周允华等,光合有效辐射(PAR)的气候学研究,气象学报,42,387—397,1984。

THE LATEST TEST RESULTS OF PHOTOSYNTHETICALLY ACTIVE RADIATION

Wang Bingzhong Shui Yaxin

(Academy of Meteorological Science, SMA)

Abstract

In light of the long term continuous automatic synchronous observations of global solar radiation (Q) and the photosynthetically active radiation (Q_{PAR}) during the growth seasons in Chengdu, Kunming and Guangzhou, it is found that the Q_{PAR}/Q ratio based on hourly accumulative radiation is almost a constant and that the season, cloud amount and diurnal variation of sun's altitude have not any obvious influence on the ratio. This result is consistent with the previous research conclusion drawn from that in the North China Plain. It seems that the ratio would increase with the latitude getting low.