

# 青藏高原 4—10 月太阳总辐射的分光测量\*

张宪洲 王其冬 张谊光

(中国科学院自然资源综合考察委员会,北京,100101)

## 摘 要

讨论了青藏高原主要作物生长期 4—10 月太阳总辐射的分光辐射能量的分配特征,分析了太阳高度角、天气条件等对太阳分光辐射相对通量的影响;与中国东部平原区相比,青藏高原光合有效辐射的相对通量稍低,但其绝对量仍远远高于中国东部平原地区。

**关键词:**总辐射,分光辐射,测量。

## 1 引 言

青藏高原海拔高,空气稀薄,大气透明度好,太阳辐射强,太阳总辐射量远远高于中国东部平原地区,丰富的光能资源有利于该地区植物的生长发育,中国一季喜凉作物单产最高纪录大都出现在该地区,太阳辐射强是该地区作物高产的重要原因之一。作物生长、发育和产量形成不仅与太阳辐射全波段的能量有关,而且与特定波段的分光辐射能量有着更为密切的关系。紫外光控制作物形状;蓝紫光能被叶绿素和黄色素强烈吸收,有很强的光合作用和成形作用;绿光表现低光合作用和弱成形作用;红橙光能被叶绿素强烈吸收,光合作用最强;红外光对种子形成、维持作物体温等都有很重要的作用。搞清高原地区太阳辐射的光谱分布及其能量分配特征,对揭示该地区作物高产的机理是十分必要的。过去高原地区开展分光测量工作不多,且为直接辐射的分光测量<sup>[1]</sup>,进行总辐射的分光测量工作,在高原地区尚属首次。

## 2 观测仪器和方法

观测仪器采用美国 Eppley 总辐射分光表,共有 5 个传感器,其上罩有不同颜色的半球形滤光罩。5 个传感器为:WG295(292—3000nm),GG495(488—3000nm),OG530(522—3000nm),RG630(627—3000nm),RG695(693—3000nm),滤光罩透过性能及仪器灵敏度在平原地区(北京)和高原地区(拉萨达孜)进行了严格的对比标定\*。记录部分采用锦州产数据采集器,每分钟循环采样一次。

仪器安装在中国科学院拉萨农业生态站(拉萨达孜,海拔 3688m)地面气象观测场内,

\* 初稿时间:1995 年 4 月 18 日;修改稿时间:1995 年 8 月 14 日。

资助课题:国家自然科学基金 49471014(1995—1997)。

\* 王其冬,张宪洲. Eppley 总辐射分光表在高原和平原上的对比标定,青藏高原农业生态系统试验研究文集,1994 年。

离地面 1.50m 高,南北排成一行,互不遮荫。采样时间为 1994 年 4 月 15 日—10 月 15 日。每日从日出到日落,输出逐时瞬时值和累积值,共取得数据 40000 个。

### 3 分光辐射的测量结果

为使用方便,定义一个分光辐射的相对通量密度值  $\eta_\lambda$ ,它是波长小于  $\lambda$  的太阳辐射通量密度  $S_\lambda$  所占全波段辐射通量密度  $S$  之比值,即  $\eta_\lambda = S_\lambda/S$ 。按此定义,位于波段  $\lambda_1 - \lambda_2$  的分光辐射的相对通量密度  $\eta_{\Delta\lambda}$  为:

$$\eta_{\Delta\lambda} = S_{\Delta\lambda}/S = \eta_{\lambda_1} - \eta_{\lambda_2}$$

$\eta_{\Delta\lambda}$  更能稳定地评价分光辐射能量的变化特征。

#### 3.1 生长季(4 月 15 日—10 月 15 日)太阳总辐射分光辐射能量的分配特征

根据 1994 年 4 月 15 日—10 月 15 日逐日分光观测资料,计算了 5 个波段的分光辐射相对通量  $\eta_{\Delta\lambda}$  的月平均值,列于表 1。

从表 1 可以看出紫外和蓝紫光、绿光、黄橙光、红光、红外光逐日分光辐射相对通量  $\eta_{\Delta\lambda}$  的生长季平均值及其月际变化特点。

紫外和蓝紫光波段的相对通量  $\eta_{\Delta\lambda}$  在 6,7,8 月偏大,9,10 月迅速减小;绿光波段的  $\eta_{\Delta\lambda}$  在 10 月最大,生长季前、中期偏小;黄橙光的相对通量  $\eta_{\Delta\lambda}$  在 8,9 月偏大,10 月偏小,4,5,6,7 月变化很小;红光的相对通量  $\eta_{\Delta\lambda}$  在 5,6,7,8,9 月偏大,而 4,10 月偏小;红外辐射的相对通量  $\eta_{\Delta\lambda}$  值则与此相反,4,10 月偏大,而 5,6,7,8,9 月偏小。生长季月际之间分光辐射的相对通量  $\eta_{\Delta\lambda}$  的这种差异,与太阳高度角、天空云量和大气中的水汽含量等月际间的变化有很大的关系,这有待进一步探讨。

表 1 太阳分光辐射逐日相对通量  $\eta_{\Delta\lambda}$  的月平均值

颜色	$\Delta\lambda$ (nm)	$\eta_{\Delta\lambda}$ (%)							
		4	5	6	7	8	9	10(月)	生长季平均
紫外和蓝紫光	292—488	20.4	20.5	21.1	20.6	21.2	19.6	18.0	20.3
绿 光	488—522	5.5	5.7	5.5	5.5	5.1	6.2	6.5	5.7
黄橙光	522—627	16.9	16.9	16.9	16.8	17.5	17.7	16.3	17.0
红 光	627—693	4.9	5.2	5.3	5.1	5.3	5.4	5.1	5.2
红 外	693—3000	52.2	51.2	51.8	51.9	50.9	51.0	54.1	51.8

#### 3.2 太阳高度角对分光辐射的相对通量 $\eta_{\Delta\lambda}$ 的影响

在整个生长季选择有代表性的晴天(5 月 24 日、6 月 9 日、7 月 3 日、8 月 6 日、9 月 29 日、10 月 11 日),根据这些晴天逐时瞬时值,计算了各波段的相对通量  $\eta_{\Delta\lambda}$  随太阳高度角  $h$  的变化情况(见表 2)。

从表 2 中可以看出,紫外和蓝紫光、绿光和红光波段的相对通量  $\eta_{\Delta\lambda}$  随太阳高度角  $h$  增高而增大;黄橙光和红外波段的相对通量  $\eta_{\Delta\lambda}$  随太阳高度角  $h$  增高而减小。随着太阳高度角的增大,大气质量减少,波长越短,散射损失减小,使紫外和蓝紫光等波段的相对通量

$\eta_{\Delta\lambda}$  增大, 红外波段的  $\eta_{\Delta\lambda}$  相对减小。

表 2 晴天分光辐射的相对通量  $\eta_{\Delta\lambda}$  和太阳高度角  $h$  的关系

颜色	$\Delta\lambda(\text{nm})$	$\eta_{\Delta\lambda}(\%)$							
		10°	15°	20°	30°	40°	50°	60°	70° ( $h$ )
紫外和蓝紫光	292—488	20.0	20.0	20.0	20.2	20.3	20.3	20.4	20.5
绿 光	488—522	3.5	3.6	3.7	3.9	4.1	4.3	4.6	4.8
黄橙光	522—627	18.0	17.9	17.9	17.8	17.7	17.6	17.4	17.3
红 光	627—693	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.9	5.0	5.0
红 外	693—3000	54.0	53.9	53.7	53.5	53.2	52.9	52.6	52.4

### 3.3 云量对分光辐射相对通量 $\eta_{\Delta\lambda}$ 的影响

太阳辐射通过大气层后的能量衰减, 与大气质量、云量、云状、大气中的水汽、气溶胶含量等都有很大关系。在高原地区, 大气透明度好, 气候干燥, 云对太阳辐射的影响就显得更为重要。为了避免分光辐射相对通量  $\eta_{\Delta\lambda}$  的季节性波动的影响, 以 7 月份为例, 把各波段的相对通量  $\eta_{\Delta\lambda}$  的资料按晴、多云和多云—阴 3 种天气状况进行划分, 能够很好地分析云量对分光辐射相对通量  $\eta_{\Delta\lambda}$  的影响, 计算结果见表 3。晴、多云和多云—阴的划分标准为: 当云量  $\leq 2.0$ 、日照百分率  $\geq 90\%$  时, 为晴; 当  $2.0 < \text{云量} < 8.0$ ,  $30\% < \text{日照百分率} < 90\%$  时, 为多云; 当云量  $\geq 8.0$ 、日照百分率  $\leq 30\%$  时, 为多云—阴。

由表 3 可见, 红外(693—3000nm)波段的  $\eta_{\Delta\lambda}$  随云量的增加而减小, 主要由于云层中的水汽水滴对红外波段太阳能选择性吸收的结果<sup>[2]</sup>; 而在紫外和可见光范围内的各个波段的  $\eta_{\Delta\lambda}$  随天空云量的增加而有所增大, 这主要由于多云天空散射增强所致。

表 3 云量对各波段相对通量  $\eta_{\Delta\lambda}(\%)$  的影响

天空状况	日数	紫外和蓝紫光	绿 光	黄橙光	红 光	红 外
		(292—488nm)	(488—522nm)	(522—627nm)	(627—693nm)	(693—3000nm)
晴	8	19.8	5.7	16.6	5.0	52.8
多 云	16	20.6	5.5	17.1	5.1	51.6
多云—阴	7	21.3	5.6	16.9	5.3	50.9

### 3.4 高原与平原地区分光辐射能量分配的比较

青藏高原海拔高, 大气透明度好, 降水量少, 空气干燥, 太阳总辐射分光辐射能量分配与内地平原地区相比有一定差异(见表 4)。

比较高原与平原地区 6、9 月分光辐射相对通量  $\eta_{\Delta\lambda}$  发现: 高原地区紫外和蓝紫光、黄橙光波段的  $\eta_{\Delta\lambda}$  偏高, 绿光和红光波段的  $\eta_{\Delta\lambda}$  偏低, 红外波段的  $\eta_{\Delta\lambda}$  则相差不多。但是, 值得指出的是, 这两个地点所进行的光谱辐射观测所用滤光罩的截止波长并不一致, 因此, 这种比较是粗略的, 尤其对于红外波段  $\eta_{\Delta\lambda}$  的比较更是如此。为了对不同仪器的测量结果加以更为精确的比较分析, 对不同截止波长的滤光罩所测得的结果必须加以订正, 这是今后需要研究解决的。

表 4 高原(拉萨达孜)与平原(北京)<sup>[3]</sup>地区太阳分光辐射  $\eta_{\Delta}$  (%) (逐日)月平均值的比较

时间	地点	$\eta_{\Delta}$ (%)				
		紫外和蓝紫光	绿光	黄橙光	红光	红外
	拉萨	292—488nm	488—522nm	522—627nm	627—693nm	693—3000nm
	北京	300—470nm	470—530nm	530—630nm	630—700nm	700—2800nm
6 月	拉萨	21.1	5.5	16.9	5.3	51.2
	北京	16.0	12.6	14.9	9.0	47.4
9 月	拉萨	19.6	6.2	17.7	5.4	51.0
	北京	13.8	12.6	15.4	9.1	48.1

分光辐射中可见光波段的辐射能量通常称为光合有效辐射(PAR),也就是能够被植物利用进行光合作用,产生干物质的那部分能量;可见光波段的相对通量  $\eta_{\Delta}$  亦称光合有效系数,也就是表 5 中的  $\eta_{\text{PAR}}$ ,国内外学者都曾对光合有效系数进行了大量的研究,表 5 列举了国内外不同学者的观测结果,其中  $\eta$  为紫外波段的相对通量密度和可见光波段的相对通量密度之和,根据表 1 可计算得出本实验的  $\eta$  为 48%。根据周允华的研究<sup>[4]</sup>,紫外波段的相对通量  $\eta_{\Delta}$  在高原和平原地区大致相同,一般取 5.3%,因此,本实验得到的光合有效系数  $\eta_{\text{PAR}}$  为 43%。

表 5 国内外光合有效辐射的  $\eta_{\text{PAR}}$  观测结果比较

作者(发表年份)	观测地点	观测时段	$\eta$ (%)	$\eta_{\text{PAR}}$ (%)
Szeicz(1971) <sup>[5]</sup>	英国剑桥	1 年	50	
Britton(1976) <sup>[6]</sup>	美国得克萨斯州	4—9 月		48
周允华(1990) <sup>[7]</sup>	中国北京	4—10 月	53	48
王修光(1990) <sup>[3]</sup>	中国北京	2 年	51	47
本实验(1994)	中国拉萨(达孜)	4—10 月	48	43

从表 5 可以看出,高原地区光合有效辐射系数并不高于平原地区,其与北京地区相比,  $\eta_{\text{PAR}}$  要相对偏低 9%—10%。虽然中国西部高原地区光合有效辐射的相对量小于东部平原地区,但绝对量仍远远高于东部平原地区,根据生长季拉萨总辐射量比北京高 20%<sup>[8]</sup> 计算,拉萨生长季光合有效辐射通量应比北京高 10%左右。但是,由于拉萨测量光合有效辐射所用仪器截止波长(693nm)要比北京(700nm)的小,因此所测得的光合有效辐射系数小于实际值,高原地区的光合有效辐射通量也应更高一些。

#### 4 结 论

通过对高原地区(拉萨达孜)生长季(4—10 月)太阳总辐射分光测量及其资料分析,得出以下结论:

(1)生长季太阳总辐射各波段的相对通量密度:紫外和蓝紫光(292—488nm)20.3%,

绿光(488—522nm)5.7%,黄橙光(522—627nm)17.0%,红光(627—693nm)5.2%,红外(693—3000nm)51.8%。

(2)生长季内各波段相对通量密度的变化一般为:紫外和蓝紫光、黄橙光和红光生长季中期偏大,生长季前、后期偏小,而绿光和红外则与此相反。

(3)随着太阳高度角增高,紫外和蓝紫光、绿光和红光的相对通量密度增大,而黄橙光和红外的相对通量密度变小。

(4)随着云量增加,紫外和蓝紫光、绿光、黄橙光和红光的相对通量密度增大,而红外的相对通量密度变小。

(5)生长季光合有效辐射(PAR)的相对通量密度高原地区(拉萨)为43%,与东部平原地区相比偏小,但其绝对量要远远高于东部平原地区。

## 参考文献

- [1] 田国良等. 青藏高原东部农作物生长季(5—10月)紫外、可见和红外辐射的特征初步分析. 气象学报, 1982, 40(3): 344—352.
- [2] Richoard E Bird. A simple solar spectral model for direct-normal and diffuse horizontal irradiance. Solar Energy, 1984, 32(4): 18—23.
- [3] 王修兰. 太阳总辐射的分光测量及其能量分配. 农业工程学报, 1990, 6(1): 48—54.
- [4] 周允华. 中国地区的太阳紫外辐射. 农业生态环境研究, 北京: 气象出版社, 1989. 176—187.
- [5] Szeicz G. Solar radiation for plant growth. J Appl Ecology, 1974, 11: 617—636.
- [6] Britton C M and Dodd L D. Relationships of photosynthetically active radiation and shortwave irradiance. Agri and Meteor, 1976, 17: 1—7.
- [7] 周允华. 光合有效辐射(PAR)的测量. 农田作物环境实验研究, 北京: 气象出版社, 1990. 3—13.
- [8] 侯光良, 李继由, 张谊光等主编. 中国农业气候资源. 北京: 中国人民大学出版社, 1993. 365—367.

# THE SPECTRAL MEASUREMENT OF THE SOLAR GLOBAL RADIATION ON TIBETAN PLATEAU DURING APRIL—OCTOBER

Zhang Xianzhou Wang Qidong Zhang Yiguang

(Commission for Integrated Survey of Natural Resource, Academia Sinica, Beijing, 100101)

## Abstract

The distribution characteristics of the spectral radiation energy in the solar global radiation are discussed, and the effects by solar elevation and weather conditions on the relative flux of the solar spectral radiation are analyzed. Compared with those in the eastern plain of China, the relative flux of PAR on Tibetan Plateau is a little lower, but the absolute flux of PAR is far higher.

**Key words:** Global radiation, Spectral radiation, Measurement.