

对太阳总辐射和某些植 被的反射及透射辐射的分光测量*

吴厚水

(广州地理研究所)

摘 要

作者利用日本EKO公司的天空辐射表(外层玻璃罩为WG-295,透过波段为295—2,800纳米)、GG-395(395—2,800纳米)和RG-715(715—2,800纳米)滤光罩,在广东省珠江三角洲地区的甘蔗田测定总辐射、近红外辐射、可见辐射和紫外辐射,以及这些光谱成分辐射在甘蔗上的反射、透射和吸收情况,测定不同下垫面对不同光谱成分辐射的反射状况。观测工作在1982年进行。

根据测定数据,得到下列初步结果:

(1)在晴天条件下,当太阳高度角大于35°时,各光谱带的比率是:红外占53%,可见占43%,紫外占4%。有云天可见辐射的比率增加,最大可超过50%。年平均可见辐射可达48%。

(2)几种不同下垫面对红外辐射的反射率的大小顺序是:绿色植物最高,可达50%以上,其次是土壤,水面最低;可见辐射则是绿色植物最低,水面次之,土壤最高。

(3)甘蔗对可见辐射,红外辐射和总辐射的响应完全不同。其结果如表2所示。

在甘蔗田中对于反射辐射,可见与红外的关系是

$$PAR_{\text{反射}} = 0.101 NIR_{\text{反射}} - 0.004$$

对于透射辐射,可见与红外的关系是

$$PAR_{\text{透射}} = 0.12 NIR_{\text{透射}} + 0.03$$

对于吸收辐射,可见与红外的关系是

$$PAR_{\text{吸收}} = 2.53 NIR_{\text{吸收}} + 0.13$$

太阳辐射是作物通过光合作用合成有机质的主要能量源泉。丰富的光能资源是作物获得高产的原因之一。但是,不同的光谱成分在作物上所产生的效应是不一样的。人们已经认识到,在绿色植物进行光合作用的过程中,可以引起光化反应的能量,是光谱中可见光波长范围的光能。因此,研究分光辐射对作物获得稳产、高产有重要的作用;同时测定作物中各类光谱成分辐射的分布状况,对于研究作物对光能的吸收以及利用遥感方法进行监测都是很有意义的。

我国有关分光测定的工作还做得不多,项月琴等(1980)曾研究我国有关地区直接分光测定的情况。本文着重研究总辐射中不同光谱成分在作物上的分布情况。

我们在广东省顺德县勒流区设定位站,利用日本EKO公司的天空辐射表、精密分光光谱辐射表、GG-395(395—2,800纳米)和RG-715(715—2,800纳米)滤光罩等产品,测

* 参加测定工作的还有陈海平、何正 equal 等同志。

定总辐射、近红外辐射、可见辐射和紫外辐射,以及这些不同光谱成分辐射在甘蔗田中的反射、透射和吸收情况;测定不同光谱成分辐射在不同下垫面的反射情况。

传感器的主要性能:

响应时间: 4 秒

线性: $\pm 3\%$

余弦响应: $\pm 2\%$ ($0-45^\circ$ 天顶角)

方向性: 无影响

温度系数: $0.8\%/^\circ\text{C}$

本文的数据取自1982年8月和9月的观测资料。我们利用上述仪器,选择晴朗的时段,在太阳高度角大于 35° 的条件下,测定天空总辐射、可见辐射、红外辐射和紫外辐射。不同光谱成分辐射在各种下垫面的反射率是按不同季节进行半定位观测的,甘蔗田中不同光谱成分辐射的分布状况是在1982年8月和9月选择10个晴天进行流动观测的。本文各组数据均在0个以上。

透射辐射较难测定。透射辐射通常有两种测定方法,一种是用管状辐射仪测定,另一种是用点状辐射仪进行水平滑动测定。我们采用了后一种测定方法。考虑到透射辐射是一个水平非均一场,为了减少取样的误差,在甘蔗田选取一个 $0.6\text{米} \times 1.0\text{米}$ 的面积,在这个面积上划定60个取样点,每次测定时在取样点取样读数,然后求其平均值。

入射辐射在开阔无遮蔽处测定,反射辐射在离叶冠1米处测定。为了减少不同仪器和不同步观测的误差,入射辐射除了用一台辐射仪器同步观测外,还用测透射辐射的仪器在测透射辐射的前后测定入射辐射,然后根据两台仪器的数据进行订正。观测均在晴天条件下进行,太阳高度角大于 35° 。

一、不同光谱成分辐射之间的相互关系

本节拟讨论总辐射、紫外、可见和红外几种不同光谱成分辐射之间的相互关系。

1. 晴天条件下入射辐射中紫外、可见、红外与总辐射的比例关系

据我们测定的数据统计,在天空晴朗无云时,入射辐射中红外辐射与总辐射之间的比例关系式可表示为

$$\frac{Q_{\text{红}}}{Q_{\text{总}}} = 0.53 \pm 0.03 \quad (1)$$

式中, $Q_{\text{红}}$ 表示红外辐射、 $Q_{\text{总}}$ 表示总辐射。

入射辐射中紫外辐射与总辐射之间的比例关系可表示为

$$\frac{Q_{\text{紫}}}{Q_{\text{总}}} = 0.04 \pm 0.01 \quad (2)$$

式中, $Q_{\text{紫}}$ 表示紫外辐射。

入射辐射中可见辐射与总辐射之间的比例关系可表示为

$$\frac{Q_{\text{可见}}}{Q_{\text{总}}} = 0.43 \pm 0.03 \quad (3)$$

式中 $Q_{\text{可见}}$ 表示可见辐射。

据1、3两式可得,入射辐射中可见辐射与红外辐射之间的关系为:

$$Q_{\text{可见}} = 0.81Q_{\text{红}} \quad (4)$$

在上面 (1) — (4) 式中, 等式右方第一项代表平均值, 后一项代表标准差。

上面只是讨论太阳高度角大于 35° 时晴天条件下几种不同光谱成分之间的相互关系的一般情况。根据我们的测定, 有云天的可见辐射与总辐射的比值大于晴天的比值, 最大可超过 50%。珠江三角洲的年平均值为 48%。

2. 不同光谱成分的入射辐射与反射辐射、透射辐射之间的相互关系

图 1 和图 2 分别是几种不同光谱成分在甘蔗田的入射辐射与反射辐射和透射辐射之间的

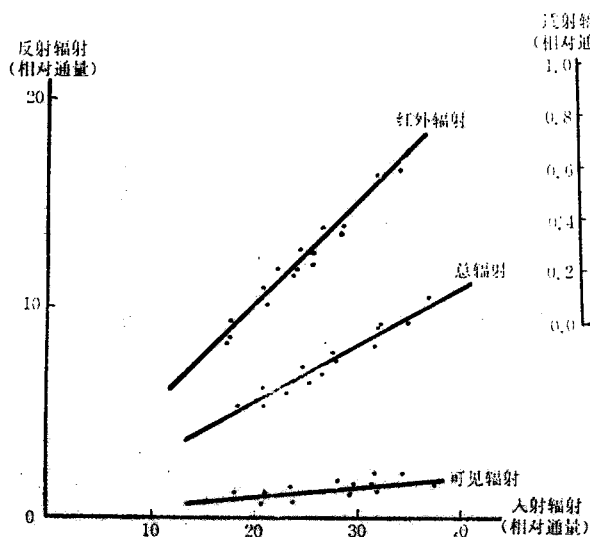


图 1 不同光谱成分辐射对甘蔗的入射辐射与反射辐射之间的关系

Fig.1 Relationship between incident radiation and reflection for different spectral bands on sugarcane canopy

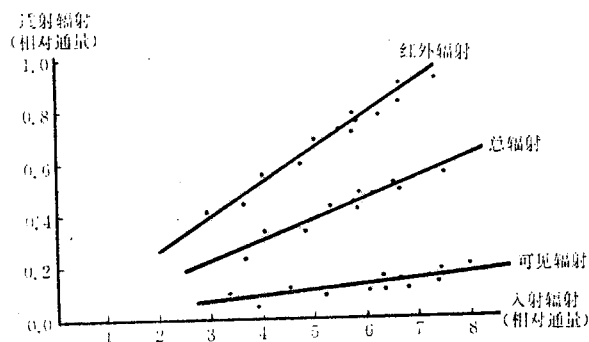


图 2 不同光谱成分辐射对甘蔗的入射辐射与透射辐射之间的关系

Fig.2 Relationship between incident radiation and transmission for different spectral bands on sugarcane canopy

关系, 其统计结果有如表 2 所示。

3. 在晴天条件下, 反射、透射、吸收辐射中红外与可见辐射的相互关系

图 3 是甘蔗反射、透射、吸收辐射中

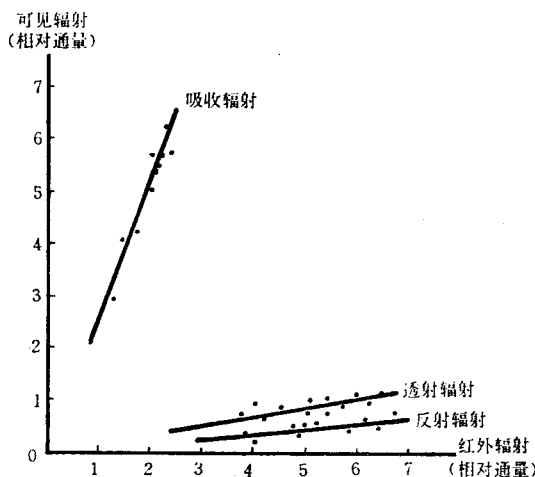


图 3 甘蔗田中的反射、透射、吸收与红外、可见辐射之间的相互关系

Fig.3 Interrelations of reflection, transmission and infrared, visible radiation on sugarcane canopy

红外与可见辐射的相互关系。

据实测资料,我们对各种关系进行回归分析,单位为瓦/米²。

对于反射辐射,可见与红外的相关系数为0.73,其关系可表示为

$$PAR_{\text{反射}} = 0.101NIR_{\text{反射}} - 0.004 \quad (5)$$

对于透射辐射,可见与红外的相关系数为0.75,其关系可表示为

$$PAR_{\text{透射}} = 0.12NIR_{\text{透射}} + 0.03 \quad (6)$$

对于吸收辐射,可见与红外的相关系数是0.80,其关系可表示为

$$PAR_{\text{吸收}} = 2.53NIR_{\text{吸收}} + 0.13 \quad (7)$$

上述各式的符号含义分别为: PAR 表示可见辐射, NIR 表示红外辐射。

二、各类下垫面对不同光谱成分辐射的反射

由于不同下垫面的物理特性不同,不同光谱成分的波长也各不相同,因此,不同光谱成分在各类下垫面的反射率有很大差异。现将我们测定的一些结果列于表1。

表1 几种不同光谱成分辐射的反射率(%)¹⁾

Table 1 Albedoes for spectral radiation on different underlying surfaces

光谱 波长(纳米)	可 见	红 外	总辐射
下垫面	395—715	715—2,800	305—2,800
甘 蔗	5	52 °	28
桑 树	5	48	26
水 面	8	6	7
干 土	15	24	19
湿 土	10	17	14
草 地	9	35	21
木 瓜	8	55	32
象 草	7	51	30

1) 作物的反射率系在生长盛期测定。

从表1可得出下列结果:

(1) 对于各类下垫面,红外辐射的反射率高于总辐射;总辐射高于可见辐射(水面除外)。一些研究已经查明,绿色植物对不同光谱成分的吸收差异很大,吸收率最大的大部分集中在可见光谱区内,吸收率最低的则集中在红外光谱区。

(2) 总辐射的反射率相当于红外辐射和可见辐射的反射率的算术平均值。即:

$$r_Q \approx \frac{1}{2} (r_N + r_V) \quad (8)$$

式中 r_Q ——总辐射反射率, r_N ——红外辐射反射率, r_V ——可见辐射反射率。反过来,

由(8)式可得:

$$r_N \approx 2r_Q - r_V \quad (9)$$

$$r_V \approx 2r_Q - r_N \quad (10)$$

这是由于到达地面总辐射的光谱成分主要由红外辐射和可见辐射组成。据我们测定,晴天条件下,可见辐射略少于红外辐射;阴天条件下,可见辐射则略多于红外辐射,如果略去紫外辐射,就平均情况来说,红外和可见辐射大约各占一半。因此,取红外和可见辐射反射率的平均值作为总辐射的反射率是合理的。

(3) 几种下垫面对红外辐射的反射率是:绿色植物最高,可达50%以上,其次是土壤,最低是水面;可见辐射的情况恰好相反,绿色植物最低,约为5—8%,水面次之,土壤最高。

(4) 总辐射与395—2,800纳米波段的光谱的反射率差异甚微,这是由于紫外辐射在

总辐射中所占的比例甚小的缘故。

三、不同光谱成分辐射在甘蔗田中的分布状况

不同作物或同一作物的不同生长期，对同一种光谱成分的分布状况是不同的。同一种作物对于不同光谱成分的分布状况也是不同的。本节主要讨论后一种情况。

我们的测定是在甘蔗田进行的。测定时甘蔗生长良好，叶面积指数为 5.2，可代表甘蔗生长盛期。我们是在中午前后进行测定的，测量结果列于表 2。

表 2 甘蔗生长盛期不同光谱成分辐射的分布状况

Table 2 Distribution of spectral radiation during growing period of sugarcane

响应类别 光谱成分	反射率 (%)	透射率 (%)	吸收率 (%)
红外辐射	52	13	35
可见辐射	5	2	93
总辐射	28	8	64

从表 2 可以看出，甘蔗对可见辐射和红外辐射的响应是完全不同的，它对红外辐射的反射辐射占入射辐射的 52%，透射辐射占 13%，吸收辐射占 35%；而对可见辐射的反射辐射只占入射辐射的 5%，透射辐射占 2%，吸收辐射占 93%。由此可见，甘蔗对红外辐射的反射率远大于可见辐射的反射率；对红外辐射的透射率也大于可见辐射的透射率。而吸收率则相反，即对红外辐射的

吸收率小于可见辐射的吸收率。因为可见辐射是植物进行光合作用的能源，所以，作物对可见辐射的吸收率高会有利于光合作用的进行。

四、结 语

根据以上分析，可得出如下几点认识：

1. 在晴天条件下，当太阳高度角大于 35° 时，珠江三角洲地区总辐射中各光谱带的比率大致是：红外占 53%，可见占 43%，紫外占 4%；有云天可见辐射的比率增加，最大可超过 50%。年平均可见辐射约占 48%。红外辐射和可见辐射的关系可用简单的关系式表示：

在晴天条件下

$$Q_{\text{可见}} = 0.81 Q_{\text{红外}}$$

对于年平均情况

$$Q_{\text{可见}} \approx Q_{\text{红外}}$$

2. 红外辐射对几种不同下垫面的反射率的大小顺序是：绿色植物最高，可达 50% 以上，其次是土壤，最低是水面，而可见辐射的反射率则是绿色植物最低，约为 5—8%，水面次之，土壤最高。

3. 甘蔗对可见辐射和红外辐射的响应是完全不同的。对于红外辐射，其反射占入射辐射的 52%，透射辐射占 13%，吸收辐射占 35%；而对于可见辐射，其反射率只占入射辐射的 5%，透射辐射占 2%，吸收辐射占 93%。可见辐射是光合作用的能源，甘蔗对可见辐射的吸收率高，则有利于光合作用的进行。

4. 甘蔗的反射辐射，可见仅为红外的 9.6%，其关系式可表示为

$$PAR_{\text{反射}} = 0.101 NIR_{\text{反射}} - 0.004$$

甘蔗的透射辐射，可见仅为红外的 15%，其关系式可表示为

$$PAR_{\text{透射}} = 0.12NIR_{\text{透射}} + 0.03$$

甘蔗的吸收辐射, 可见是红外的2.66倍, 其关系式可表示为

$$PAR_{\text{吸收}} = 2.53NIR_{\text{吸收}} + 0.13$$

最后值得说明: 严格地说, 对所使用的每种滤光罩的起始波长和透过率都应逐个测定。可是由于条件限制, 我们未能进行这一工作。本文所列各个滤光罩的起始波长都是该种型号玻璃的“名义波长”。此外, 我们对各种滤光罩都使用了相同的仪器常数, 这意味着把各种滤光罩的透过率取成了统一值, 从而忽略了它们之间的个体差异。这些都会给我们的观测结果带来一定的误差。可巧的是: 周允华等(1984)曾对太阳总辐射中紫外辐射(波长小于400 纳米)和可见辐射(400—700 纳米)所占比例作过气候学研究。他们的理论结果表明: 在晴朗无云的天气条件下, 太阳高度较高时, 紫外辐射所占比例为5%, 他们算出的广州夏季可见辐射所占比例为45%。这些计算结果和我们实测的结果(相应值为4%和43%)基本一致。他们计算出的广州实际天气条件下(包括天空有云)的可见辐射在总辐射中所占比例年平均为47%, 这和我们观测的结果(48%)也很一致。这样, 他们的理论计算结果和我们的实测结果正好互为印证。这些比较表明: 虽然我们的测量可能会有一定的误差, 但基本数据还是可信的。

参 考 文 献

- 田国良等 1982 西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 40(3):344—352。
- 周允华 1984 紫外辐射的气候学研究。太阳能学报 5(1):1—11。
- 周允华等 1984 光合有效辐射的气候学研究。气象学报 42(4):387—397。
- 项月琴等 1980 太阳直接辐射的分光测量。气象学报 38(1):51—63。
- Pereira, A.R., E.C.Machado and M.B.P.de Camargo 1982 Solar radiation regime in three cassave (maihot esculente crantz) canopies. Agric Meteorol 26(1):25—38。

A STUDY OF SPECTRAL RADIATION UPON SOME CROPLAND IN THE ZHUJIANG DELTA, CHINA

Wu Houshui

(Guangzhou Institute of Geography)

Global, near-infrared, visible and ultraviolet radiation upon sugarcane fields in the Zhujiang Delta, as well as their reflection, transmission and absorption were measured in 1982 by using EKO pyranometers with WG-295, GG-395, RG-715 filters. It is shown that:

1. Under clear sky, when the sun's altitude is higher than 35° , the proportion of different spectral bands to the total are as follows: infrared 53%, visible 43%, ultraviolet 4%. For annual average, visible radiation accounts for 48%.

2. The albedoes for infrared radiation on different surfaces follow such an order as: green plant the highest (on which the albedo is more than 50%), soil the second and water the lowest, while for visible radiation the order is soil, water and green plant.

3. The responses of sugarcane to visible, infrared and global radiation are quite different, as shown in Table 2.

The relationship between reflection of visible radiation (PAR) and that of near-infrared radiation (NIR) is

$$PAR_{refl} = 0.101NIR_{refl} - 0.004$$

The relationship between transmission of PAR and that of NIR is

$$PAR_{trans} = 0.12NIR_{trans} + 0.03$$

And the relationship between absorption of PAR and that of NIR is

$$PAR_{obs} = 2.53NIR_{obs} + 0.13$$