

自然与农田状态下照度计 测光的偏差分析

王 谦 陈景玲 吴明作 董中强

(河南农业大学林园学院, 郑州 450002)

提 要

根据色度基本原理,推导并计算了不同天气类型下照度的换算因数,并在不同天气类型下,对自然光和小麦群体不同高度透光情况进行了测定,将照度计实测照度换算出的辐射强度与实测辐射强度进行对比。结果表明:①前两种照度计可以在1、2级日光状况下用于太阳辐射测定而在3、4级日光状况下误差较大。②在作物田中,实测照度换算为辐射光量子数时,内活动面偏差比在0.2左右,而外活动面因光斑阴影作用,偏差较大,实测时应增加重复。

关键词: 照度计 太阳辐射 偏差

引 言

光是重要的生态因子,光的测量必不可少。由于照度计价格低,使用方便而得到广泛采用。特别是在农业上,在作物的生长发育与太阳辐射的关系研究中,经常采用照度计测定太阳辐射。所以,历史上照度计测定

太阳辐射研究资料也较多。照度计所测的照度,根据色度学原理,的确可以转换为辐射通量密度。作者研究了它们之间的关系,见文献[3]。但照度计是测定辐射的亮度的仪器,它模拟人眼对光的敏感程度,通过光电效应测定外来光线在某一表面上所产生的照度。

人眼对太阳光有视觉的光谱区为可见光,所以照度计无法测得红外线和紫外线部分的光线产生的辐射通量;并且在可见光范围内,不同波长的辐射,照度计的感应探头对之的敏感程度也不同。所以,照度计用于太阳辐射的测定存在着许多问题。本文拟通过实测太阳辐射,对之加以研究。

1 材料和方法

1.1 色度学原理

对波长 λ , 光所产生的视觉通量 Φ_{vis} 与辐射通量 Φ_{e} 的关系为

$$\Phi_{\text{vis}} = K_{\text{max}} V(\lambda) \Phi_{\text{e}} \quad (1)$$

K_{max} 为常系数, CIE(国际光照委员会)确定 $K_{\text{max}} = 673 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$, $V(\lambda_i)^{[1]}$ 为白昼视觉光效率, 或光见度函数, 无量纲。

对自然光, Φ_{vis} 合成一个总的视觉通量, 称光通量, 用 Φ_v 表示; 其产生的辐射通量, 表示为 Φ_e 。对于一定的光谱组成, Φ_v 与 Φ_e 成正比, 比值为定值, 用 I 表示。

Φ_v 与 Φ_e 理论上可用其相应的各波长的分布密度对全波段积分求得, 即, 单位面积产生的视觉通量为每平方米流明数(勒克斯 lx), 而产生的辐射通量为每平方米瓦($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)。所以对于确定的光谱组成的光源, I 值实际上是照度与辐射通量密度的换算关系。由于可见光以外的光线是不产生视觉效应的, 所以只对 $400 \sim 760 \text{ nm}$ 波段积分

$$I = \frac{673 \int_{400}^{760} V(\lambda) \Phi_{\text{e}} d\lambda}{\int_{400}^{760} \Phi_{\text{e}} d\lambda} \quad (2)$$

1963 年 CIE 确定了 3 种标准照明体 D_{55} 、 D_{65} 、 D_{75} , 它们分别对应阴天、多云、晴天的日光组成, 且给出了离散型的相对光谱功率分布, 用 $S(\lambda_i)$ 表示, 它共有 37 个离散值, 其具体数值参见文献[2]。则式(2)可用差分代替积分, 即

$$I = \frac{673 \sum_{i=1}^{37} v(\lambda_i) s(\lambda_i)}{\sum_{i=1}^{37} s(\lambda_i)} \quad (3)$$

根据普朗克定律, 可知 $1 \mu\text{mol}$ 光子所

具有的能量为

$$E_{\mu\text{mol}} = mhc/\lambda \times 10^{-6}$$

其中, m 为阿佛加德罗常数, 等于 6.02×10^{23} , h 为普朗克常数, 等于 $6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$, λ 为波长, c 为光速。

类似地, $1 \mu\text{mol}$ 光子相当的照度值为

$$I' = \frac{673mhc \int_{400}^{760} \frac{V(\lambda) \phi_{\text{e}}}{\lambda} d\lambda}{\int_{400}^{760} \phi_{\text{e}} d\lambda} \quad (4)$$

陈景玲^[1]计算了 I 和 I' 值^[3], 见表 1。

表 1 3 个国际标准照明体对应的光谱光效能^[3]

光源	D_{55}	D_{65}	D_{75}
$I(\text{lx}(\text{W} \cdot \text{m}^{-2})^{-1})$	215.21	212.94	209.26
$I'(\text{lx}(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})^{-1})$	46.35	46.05	45.39

用照度计观测照度值, 换算为相应的辐射通量或光子通量, 与热电极辐射计或光子仪器观测的结果相比较, 即可得到其绝对偏差, 绝对偏差与实测值的比值, 为偏差比, 它表示了相对偏差程度。

1.2 实验仪器与测定方法

在河南农业大学毛庄气象站, 使用热电极辐射计 DFY1、DFY2 辐射计和上海险峰电影机械厂生产的风光牌 ZF-2 型照度计。仪器感应面距离地面 1.5m, 分别于 2001 年 11 月 9、10、18、25 日进行实测, 其中前 3 天为晴天, 25 日天气为阴转多云, 下午转晴。从早晨弱光开始测定, 直到中午最强光为止, 每间隔 10 分钟读一次数, 连续测量多个数值, 同时, 目测日光状况以确定照度计在各种天气状况下的反应。日光状况在农田小气候研究中分为 4 级, 即 1 级—— Π , 2 级—— $\odot^0$, 3 级—— $\odot$, 4 级—— $\odot^2$ 。

另外于 2002 年 4 月 6~7 日(冬小麦孕穗期)在河南省兰考县大北农种业集团超级小麦试验基地进行了作物层中辐射观测。选用了 Li-Cor188B 辐射计进行辐射测定。使用天津气象海洋仪器厂 GZD-06 型袖珍式硅光电池数字照度计进行照度测定。每隔 2 小时测一次, 每次观测时间同时记录日光状况。小麦品种为豫麦 34、兰考矮早 8、豫麦 66、优系。

将照度计实测值换算为地面上的太阳总

辐射,这里称为计算总辐射,用 $Q'_{\text{总}}$ 表示

$$Q'_{\text{总}} = L_{\text{实测}} / I \quad (5)$$

式中, $L_{\text{实测}}$ 为实测总照度。

实测太阳总辐射用 $Q_{\text{总}}$ 表示,有

$$Q_{\text{总}} = Q_{\text{直}} \sin h + Q_{\text{天}} \quad (6)$$

式中, $Q_{\text{直}}$ 为直接辐射表所测结果, $Q_{\text{天}}$ 为天空辐射表所测结果, h 为太阳高度角。

根据天气类型,选择不同的 I 值,求得计算总辐射,再用它与实测太阳总辐射进行对比。

2 结果与分析

2.1 自然光下测定的结果

2001年11月9、10、18日均为晴天,日光状况为 $\odot^2$,其太阳辐射变化规律一致,取18日观测的结果,并求得计算照度,二者对比示于图1。计算照度偏低。统计其绝对偏

差,在161~550Lx之间,这样的偏差可以满足一般测光需求。计算照度与实测照度相关系数为0.9941, $t(10) = 28.98 > t_{0.005}(10) = 3.1693$ 在信度0.005下通过 t 检验。其回归方程为

$$L_{\text{计算}} = 0.985L_{\text{实测}} - 265.5 \quad (7)$$

回归系数 $A = 0.985$, 接近于1,也说明了计算照度与实测照度有较好的一致性。而回归系数 $B = -265.5$ 表示了计算照度与实测照度的平均偏差。

2001年11月25日为阴转多云天气,下午转晴,此次观测代表了阴及多云天气照度计的表现。统计其计算总辐射与实测总辐射对比。实测总辐射减去计算总辐射为偏差,偏差与实测总辐射的比值为偏差比。结果见表2。

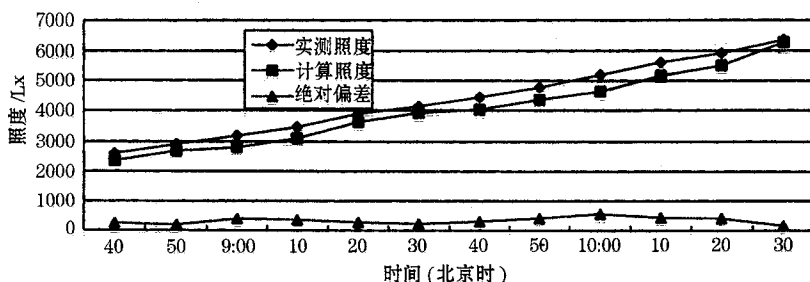


图1 晴天下计算照度与实测照度对比及偏差

表2 阴及多云天气下计算总辐射与实测总辐射的对比 (单位: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

1级					2级					3级				
时间	计算	实测	偏差	偏差比	时间	计算	实测	偏差	偏差比	时间	计算	实测	偏差	偏差比
8:20	37.3	42.9	5.6	0.15	9:30	88.2	107.8	19.6	0.22	10:50	200.6	318.8	118.2	0.59
8:30	36.8	37.6	0.8	0.02	9:40	101.6	129.3	27.7	0.27	11:00	197.6	295.1	97.5	0.49
8:40	40.2	43.5	3.3	0.08	9:50	104.5	120.1	15.6	0.15	11:10	200.6	317.2	116.6	0.58
8:50	45.7	48.8	3.1	0.07	10:00	87.6	97.1	9.5	0.11	11:20	215.7	373.0	157.3	0.73
9:00	54.4	61.2	6.8	0.13	10:10	97.8	107.9	10.1	0.1	11:30	205.9	348.8	142.9	0.69
9:10	60.0	68.2	8.2	0.14	10:20	132.6	153.5	20.9	0.16					
9:20	64.1	75.1	11	0.17	10:30	130.8	156.2	25.4	0.19					
					10:40	153.0	195.9	42.9	0.28					
平均	48.4	53.9	5.5	0.11	平均	112.0	133.4	21.4	0.19	平均	204.1	330.6	126.5	0.62

可以看出,在1级日光状况下,偏差比均值为0.11。最大为0.17;在2级日光状况下,偏差比均值为0.19,最大值为0.28;在3级日光状况下,则偏差比明显增大,平均达0.62,最大达0.73。图2能清晰地看出偏差

的变化,前两级日光状况,偏差在较低水平下波动,当日光状况达3级时,偏差比迅速升至0.60左右。由于3级日光状况的标准是地物有影子,这反映了当太阳辐射因云的变化而不稳定时,照度计测量结果换算为辐射通

量时,偏差会增大。另外,太阳辐射较强时,照度计升温,测量结果易产生偏差。这些现象实用中应予以注意。

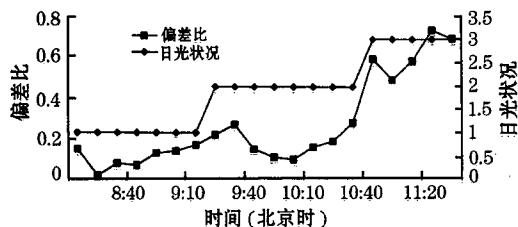


图2 阴与多云天气下不同日光状况的偏差比

2.2 作物田中的测定结果

以豫麦 34 为例,其在群体内活动面上的状况与外活动面上不同,如图 3、4,内活动面上除个别点偏差较大外,一般偏差比在 0.2 左右。而外活动面上偏差比一般在 ± 0.5 之间,最大的甚至达到 0.9。这里偏差较大的原因是田间光斑阴影极不均匀,两种仪器在田间同一层次观测时,两探头所处光斑阴影区的随机性造成的。所以,在田间测定辐射时,尤其是外活动面以上应有较多重复,以消

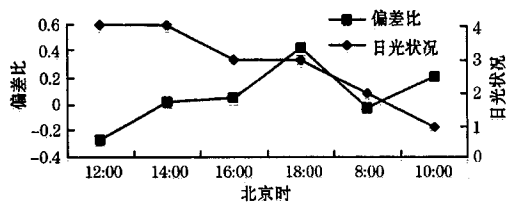


图3 豫麦 34 内活动面上偏差比随日光状况变化

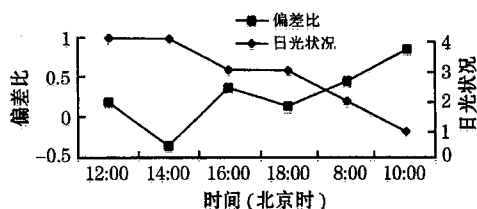


图4 豫麦 34 外活动面上偏差比随日光状况变化除这种随机性。

3 结论与讨论

①晴天下照度计与热电型辐射仪观测太阳辐射可以根据色度学原理加以换算,计算数据与实测数据在信度 0.01 下通过检验。

②阴天云均匀时,照度计与热电型辐射仪器实测太阳辐射换算后偏差较大,而在多云时,由于云的影响偏差较大。

③作物田中内活动面上偏差比较小,说明用照度计所测的太阳辐射可换算为 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,但仍受到光斑阴影区的随机性的影响,而外活动面上这种影响较大。

参考文献

- 1 李景镇,苏世学,赵俊民等主编.光学手册.西安:陕西科学技术出版社,1986.
- 2 荆其诚,焦书兰,喻柏林等编.色度学.北京:科学出版社,1979.
- 3 陈景玲.实用光源的 lx 与 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的转换关系.河南农业大学学报,1998,32(2):199~202.

The Deviation Analysis of Light Measuring with Illuminometers under Natural Sunlight and on Farmland

Wang Qian Chen Jingling Wu Mingzuo Dong Zhongqiang
(Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002)

Abstract

The conversion factors of illumination in different weather type are deduced and calculated according to the basic principle of chroma, the light penetrates through the canopy at different high level above ground are measured, and the measured radiation intensities are compared with converted ones. The results are: (1) the two illuminometers can be used to natural sunlight measured at 1 and 2 classes sunlight but not at 3 and 4 classes; (2) the deviation ratios of the quantum converted from measured illuminations are about 0.2 at the inner active surface level on farmland, meanwhile at outer active surface level the deviation ratios are higher because of the effect of light spots and drop shadows, so it naturally needs more repetitions.

Key Words: illuminometer solar radiation deviation