

光合有效辐射表灵敏度校准方法研究

孔诗媛^{1,2}, 沙奕卓², 杨云², 张国玉¹, 丁蕾², 边泽强²

(1. 长春理工大学, 长春 130000; 2. 中国气象局气象探测中心, 北京 100081)

摘要:为了保证光合有效辐射观测数据的准确可靠,需要对光合有效辐射表的灵敏度值进行校准。根据光合有效辐射表的技术特点,给出了两种灵敏度校准溯源体系,详细介绍了利用光谱辐射计和标准光合有效辐射表两种校准方法的技术原理、实验流程和数据处理方法,并对两种校准方法的结果进行了比较。结果表明:用标准光合有效辐射表的校准结果与用光谱辐射计校准的结果相差在5%以内,满足光合有效辐射地基观测的精度要求。

关键词:光合有效辐射表;灵敏度;校准

中图分类号:TP29 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-009X(2013)04-0004-04

Sensitivity calibration method of photosynthetic active radiation pyranometer

Kong Shiyuan^{1,2}, Sha Yizhuo², Yang Yun², Zhang Guoyu¹, Ding Lei², Bian Zeqiang²

(1. Changchun Science and Technology University, Changchun 130000; 2. CMA Meteorological Observation Centre, Beijing 100081)

Abstract: In order to ensure the accurate and reliable photosynthetically active radiation measurement, sensitivity calibration of photosynthetic active radiation pyranometer is required. Two kinds of sensitivity traceability system are proposed. This paper describes the technical principles, experiment process and data processing of these two calibration methods in detail by using spectroradiometer and standard photosynthetic active radiation pyranometer. After comparing the results, it shows that the differences between them is within 5% which meets the accuracy need of photosynthetic active radiation.

Key words: photosynthetic active radiation pyranometer; sensitivity; calibration

0 引言

太阳辐射中能被绿色植物用来进行光合作用的那部分能量(光谱范围 400~700 nm)称为光合有效辐射,简称 PAR。它是形成生物量的基本能源,直接影响着植物的生长、发育、产量和产品质量^[1]。光合有效辐射的测量,对于农业生产、生态研究、气候评估等具有重要的意义。光合有效辐

射表是测量光合有效辐射的仪器,它与专用记录仪或电测仪表相连,可以测量太阳光合光子通量密度(光子照度)。灵敏度是光合有效辐射表最重要的一个技术参数,由于仪器的输出是电压值,电压值除以灵敏度才能计算出辐照度值。因此,为了保证观测数据的准确可靠,需要对光合有效辐射表的灵敏度值进行校准。

国内外的一些光合有效辐射表生产厂家和研

收稿日期:2013-07-17.

基金项目:公益性行业(气象)科研专项“太阳能预报技术研究”(GYHY201006036),“太阳能资源观测用气象传感器的研制”(GYHY201006044).

作者简介:孔诗媛(1988-),女,硕士研究生.研究方向为气象仪器测试与检定.

究机构,根据自身的生产和科研需求,建立了各自的灵敏度校准方法和量值溯源流程。荷兰 Kipp&Zonen 公司生产的 PQS1 型光合有效辐射表利用一个标准的 PQS1 表进行出厂校准,这个标准 PQS1 表同时会定期向上溯源到 1 000 W 标准卤钨灯,但其只给出了校准结果,没有给出详细的校准方案和数据处理方法;美国光合有效辐射表生产企业 LI-COR 公司的产品手册里也只给出了校准灵敏度和建议校准周期,而且要求返厂校准,更没有说明校准用标准器和校准方法等信息。一些学者根据观测数据质量控制需求提出了光合有效辐射表的校准设备和校准方法,但只是针对实验室测试,因此一些校准方法和校准设备难以在日常校准和检定业务中推广应用^[2,3]。

本文根据国内外光合有效辐射表一些成熟的校准方法和技术,同时参照中国气象局国家气象计量站现有辐射仪器测试方法的相关经验,研究技术合理、业务可行的光合有效辐射表灵敏度校准方法,建立光合有效辐射表的量值溯源体系,从而保证光合有效辐射测试数据的准确可靠。

1 光合有效辐射表

光合有效辐射表可以测量波谱范围 400~700 nm,对植物光合作用有效的可见光波段的太阳辐射。光合有效辐射表机体上端设置有减小余弦响应误差的余弦修正片,在余弦修正片的下方,有滤光片和硅光探测器。滤光片是仪器的关键部件,它保证硅光探测器只能接收到波谱范围 400~700 nm 的太阳辐射,而对其他波段的太阳辐射进行截止和屏蔽。硅光探测器能产生与入射辐射强度成正比的短路电流信号,由于电流比较难以测量,通常是在电流回路中串联一个固定电阻,再从电阻的两端测量电压。

光合有效辐射表的具体技术指标如下:

光谱范围:400~700 nm;

灵敏度(额度): $4\sim 10 \mu\text{V}/\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$;

线性: $\pm 1\%$;

年稳定性: $\pm 2\%$ 。

2 光合有效辐射表灵敏度校准

光合有效辐射表的辐照度为:

$$E = \frac{V}{K} \quad (1)$$

式中: V 为光合有效辐射表输出的电压值; K 为光合有效辐射表的灵敏度,对于能量传感器而言,单位为 $\mu\text{V}/\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$,对于量子传感器而言,单位为 $\mu\text{V}/\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$; E 为光合有效辐照度,其计量单位有两种表示方式,即能量单位 W/m^2 和量子单位 $\mu\text{mol}/\text{s}\cdot\text{m}^2$,当用量子单位时称光合光子通量密度^[4]。

灵敏度 K 是光合有效辐射表最重要的一项技术参数,它通过标准仪器校准(检定)才能求出,灵敏度校准的准确性直接影响着光合有效辐射表观测结果辐照度的准确性。

2.1 光合有效辐射表量值溯源体系

光合有效辐射表的灵敏度测试及其量值溯源可以有两种方式,一种是根据光合有效辐射表的光谱范围,溯源到光谱辐射计,然后在向上溯源到中国计量科学研究院(National Institute of Metrology,简称 NIM)的标准灯,如图 1 所示。

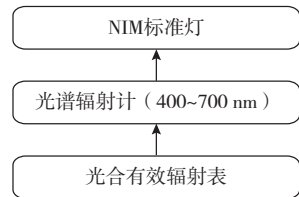


图1 第一种光合有效辐射表溯源流程图

另外一种方式就是参照总辐射表的溯源方式^[5],向标准光合有效辐射表溯源,然后再逐级向上溯源到光谱辐射计和中国计量科学研究院的标准灯,如图 2 所示。

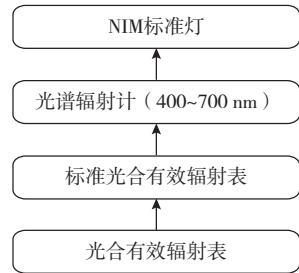


图2 第二种光合有效辐射表溯源流程图

第一种方式是利用室外太阳作为光源,以光谱辐射计 400~700nm 波长范围的辐照度为标准,对被检光合有效辐射表进行校准;第二种方式采用标准光合有效辐射表与被检表在日光下对比测试的方法进行校准。下面详细介绍这两种校准方式并进行比较研究。

2.2 光谱辐射计校准法

利用光谱辐射计校准光合有效辐射表,校准时要求天空晴朗,太阳高度角大于 30° 。光谱辐

射计与被检仪器同步连续采集数据。测量系列不少于 10 次/h, 测量时间为 3~4 h(一般在地方时 10:00~14:00 之间进行)。同时记录下测量期间的平均气温, 进行尽可能多的连续采样^[6]。

计算第 i 次测量系列采样时间内, 光谱辐射计在 400~700 nm 波长范围内的标准辐照度 $E_{(i,j)}$ 为:

$$E_{(i,j)} = \int_{400}^{700} E_{s,\lambda} d\lambda \quad (1)$$

式中: $E_{s,\lambda}$ 为光谱辐射计在波长为 λ 处测量的光谱辐照度 (W/m^2)。也可表达为光量子出射度, 即:

$$E_{(i,j)} = \int_{400}^{700} K_{\lambda}^q E_{s,\lambda} d\lambda \quad (2)$$

式中: K_{λ}^q 为以量子为单位的光谱灵敏度, 即:

$$K_{\lambda}^q = \lambda/119.7 \quad (3)$$

计算光谱辐射计每一段采样积分时间内, 对应的被检仪器电压或电流输出的平均值 $V(i,j)$ 或 $I(i,j)$ 。将被检辐射表的电压或电流输出平均值与光谱辐射计在 400~700 nm 测得的标准辐照度累计值式(1)或式(2)计算结果相比较, 即可得到被检表的能量灵敏度或量子灵敏度。灵敏度计算公式如下:

$$K_{(i,j)} = \frac{V_{(i,j)}}{E_{(i,j)}} \quad (4)$$

式中: $E_{(i,j)}$ 为光谱辐射计测得的标准辐照度累计值。以 1 h 的测量数据为一组, 按式(5)计算出第 j 组灵敏度的平均值 $K_{(j)}$:

$$K_{(j)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_{(i,j)} \quad (5)$$

式中: n 为每组测量次数。对于具有 m 组测量系列来说, 按式(6)确定最后灵敏度的平均值 K :

$$K = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m K_{(j)} \quad (6)$$

K 值的计算结果修约到小数点后两位。

2.3 标准光合有效辐射表校准法

参照现在业务上应用的总辐射表校准方法, 利用标准光合有效辐射表校准被检光合表, 校准时气象环境要求与利用光谱辐射计校准时一样。具体步骤如下:

根据标准光合有效辐射表和被检表同时采集的瞬时值, 按下式计算每次测量的比值 $F_{(i,j)}$:

$$F_{(i,j)} = \frac{V_{(i,j)}}{V_{0(i,j)}} \quad (7)$$

式中: $V(i,j)$ 为被检光合有效辐射表的第 j 组第 i

个输出值; $V_0(i,j)$ 为标准光合有效辐射表的第 j 组第 i 个输出值。以 1 h 的测量数据为一组, 按下式计算出 j 组比值的平均值 $F(j)$:

$$F_{(j)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_{(i,j)} \quad (8)$$

式中: n 为测量次数。对于具有 m 组测量系列来说, 按下式确定最后比值的平均值 F :

$$F = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m F_{(j)} \quad (9)$$

按下式计算被检光合有效辐射表的灵敏度 K :

$$K = K_0 \cdot F \quad (10)$$

式中: K_0 为标准光合有效辐射表的灵敏度。

2.4 校准结果分析

为了比较研究, 在河北固城的国家气象计量站辐射检定外场, 利用标准光合有效辐射表对 LI-COR 公司的 2 个 LI190SB 型光合有效辐射表进行了校准测试, 测试时天空晴朗, 太阳高度角 $\geq 30^\circ$, 四周空旷, 仪器感应面以上没有任何障碍物。1 个/min 数据, 每组 60 个数据, 共测试 3 组, 按照标准光合有效辐射表校准法计算灵敏度, 图 3 所示为 2 个被检光合表的标准差。另外, 以 Bentham 公司的光谱辐射计为标准, 在同样的气象条件下对上述 2 个光合有效辐射表进行校准。两种方法的校准结果见表 1。

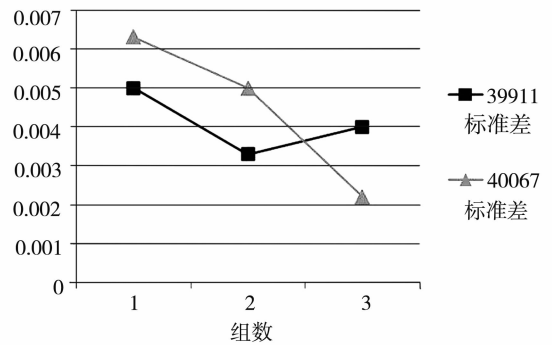


图 3 被检光合有效辐射表的标准差

表 1 光合有效辐射表灵敏度测试 $\mu V/(\mu mol \cdot s^{-1} \cdot m^{-2})$

表号	光谱辐射计法	标准光合有效辐射表法	两者相差
40067	4.18	4.21	0.72%
39911	4.23	4.37	3.31%

从表 1 可以看出, 用标准光合有效辐射表法的校准结果, 与用光谱辐射计校准法的结果相差在 5% 以内, 说明用标准光合有效辐射表法进行校准的方法是可行的, 且精度能够满足光合有效辐射地基观测的要求。由于光谱辐射计价格特别昂贵, 而且光谱辐射计本身的校准周期较短, 通常

1个月左右就要用标准灯进行1次校准,因此操作比较复杂,只适合于实验室测试。利用标准光合有效辐射表来进行工作级光合有效辐射表的校准,校准方法简单,校准用标准设备价格合理,适合于业务推广应用。

3 结论

光合有效辐射表用于波谱范围400~700 nm的可见光波段太阳辐射的测量。准确的光合有效辐射的测量对于不同环境下植物接收光照情况、农产品产量预测、气象辐射观测具有重要意义。本文比较了两种光合有效辐射表量值溯源体系,详细介绍了利用光谱辐射计的校准方法和利用标准光合有效辐射表的校准方法,并分析了两者校准结果,提出了业务可推广应用的校准方法。

由于光合有效辐射表本身存在非线性、方向误差、光谱响应、温度响应等技术特性,从而会影响灵敏度校准的准确性,下一步应从不同方面对

校准数据进行分析对比,研究影响光合有效辐射表灵敏度校准的影响因子,以提高光合有效辐射表灵敏度校准的准确性。

参考文献:

- [1] 周允华. 光合有效辐射(PAR)的测量[M]. 北京:气象出版社,1990.
- [2] 王炳忠,胡波,刘广仁. 光合光子传感器校准的一些问题[J]. 太阳能学报,2008(1):1-5.
- [3] 高迪,张国玉,高越. 气象辐射计量检测系统装调方法研究[J]. 气象水文海洋仪器,2012,29(1):1-5.
- [4] 聂修和,聂宜茂,聂俊华,等. 光合有效辐射测量原理及其单位换算[J]. 山东农业大学学报,1992(3):247-253.
- [5] 吕文华,莫月琴,王冬. 总辐射表性能的测试研究[J]. 太阳能学报,2002(3):313-316.
- [6] 丁蕾,杨云,权继梅,等. 光合有效辐射表性能测试研究[D]. 浙江:2012年度气象水文海洋仪器学术交流会议论文集,2012.

(上接3页)

(2) 远程监控:自动检查各外站的通讯、电源等运行状态,并可以对各外站进行时间校正、修改外站参数、复位、清空存储区等操作。

(3) 数据接收:根据用户设置的时间间隔,自动接收外站数据,并进行显示,存储瞬时数据,每小时自动存储整点数据;软件每小时定时检查所有台站数据是否缺少,如有缺少自动补收;每天自动检查最近3天数据是否缺少,如有缺少自动补收。在系统没有出现大的故障的情况下,一般不需人工检查和干预系统运行,减少工作量。

(4) 数据存储:可以以文本方式和数据库方式存储数据,文件格式及数据库结构按照用户的要求设计。

(5) 数据补收:若中心站数据丢失,可手动补收一定时间段的数据,并存盘;可以单站补要,也可以多站补要。

(6) 数据查询:可按时段查询各台站的数据。

3 结束语

本文介绍的农田小气候自动气象观测系统目

前已经在国内得到了部分的应用。其中2012年7月,辽宁省气象局建成了由8套农田小气候自动气象站和4套自动土壤水分观测站组成的农田小气候自动气象观测系统,该系统包括农业大棚站、水田站、农田站等多种类型台站,各站传感器配置均不同。随着国内农业气象观测的发展,农田小气候自动气象观测系统将得到更广泛的应用。

参考文献:

- [1] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京:气象出版社,2008.
- [2] 中国气象局. 生态气象观测规范[M]. 北京:气象出版社,2005.
- [3] 钟阳和,石生锦,黄彬香. 农业小气候[M]. 北京:气象出版社,2009.
- [4] 袁光明,吴宁强,郭新,等. 农业气象观测数据自动化处理系统[J]. 陕西气象,2002(4):20-22.
- [5] 余卫东,杨光仙,张志红. 我国农业气象自动化观测现状与展望[J]. 气象与环境科学,2013,36(2):66-71.
- [6] 张雪芬,薛红喜,孙涵,等. 自动农业气象观测系统功能与设计[J]. 应用气象学报,2012,23(1):105-112.