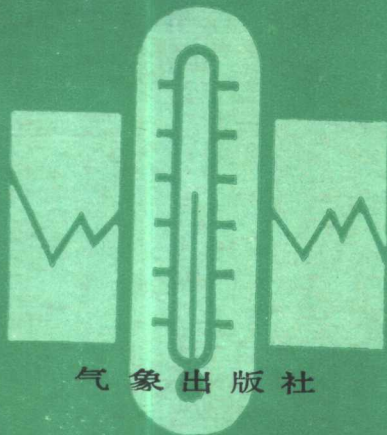




杨正明 鹿洁中

生物环境 小气候测量



气象出版社

生物环境小气候测量

D. M. 昂温 著

杨正明 译 鹿洁忠 校

气象出版社

内 容 简 介

本书系根据英国 D.M.Unwin 所著“生物环境小气候测量”(1980)译出,该书是剑桥大学 J.E.Treherne 和 P.H.Rubery 主编的“生物技术丛书”之一。本书除了对仪器的原理、性能、构造、误差来源作了简述外,重点介绍了在普通实验室条件下,具有一般技术水平人员掌握制作、试验、校准简易仪器的方法和技术。本书实用性较强,特别是介绍了一些新颖的专门仪器,除用于生态学及农业气象工作者测量小气候环境外,也适用于农业、园林、植保等方面的研究工作者和实际工作者参考。

D.M.Unwin
Microclimate Measurement
for Ecologists
Academic Press, 1980

生物环境小气候测量

作者: D.M. 昂温

译者: 杨正明 校者: 鹿洁忠

责任编辑: 霍总会

• • •
商务出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

北京市昌平环球印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 全国各地新华书店经售

• • •
开本: 787×1092 1/32 印张: 3.5 字数: 73千字

1985年11月第一版 1985年11月第一次印刷

印数: 1—3,200

统一书号: 13194·0268 定价: 0.85元

前 言

当今几乎所有的科学发现都取决于仪器设备，遗憾的是，这意味着在大多数情况下，局限于对那些具有先进的训练和使用很昂贵设备的一些研究。幸好，人类的一个极重要的广阔领域实际上并不这样要求，并且在这个领域内有许许多多需要研究的项目。这就是，不管在自然界还是在农业方面，都要了解生物和它们的物理环境之间的关系。

长期以来人们就知道，大多数生物的生命受大规模自然变化，如季节、干旱等的支配。而且多年来试图说明植物授粉或昆虫的习性等现象与一般气象站所测量的气候之间的关系，但一直没有取得满意的结果。实践使我们懂得真正起作用的因素是：在叶子表面几毫米内、一朵花内或土壤的小孔穴中的气候，这些气候可能与其外面测量的气候完全不同。有时植物或动物本身也会造成微小的气候环境，靠近一个小物体周围的湿度会决定该物体是否会迅速变干，对许多生物的能量平衡来说，吸收或丢失热量是必不可少的，光的情况往往引起主要生物习性的出现。

在成千上万种动植物中，都有其各自的特殊要求，而每一种的要求也不相同，否则它们就不会成为有竞争力和能生存的“种”。特别是在农业范围里，一个“种”中就有许多“品种”。通过敏锐的观察和可带到田间的比较简易的仪器两者相结合，将会得到大量宝贵的科学资料。

D.M.Unwin 花费了多年时间同生态学家讨论关于他们

想要测量的问题，为解决这些问题，他设计并制作了仪器。他了解许多生态学家对阐明他们的物理学认识中遇到的困难，而要求生态学家能够制作以及在田间和实验室使用仪器也是实际可行的。他还是一位双翅昆虫学家，他在田间研究中曾使用过本书所介绍的仪器。这些仪器大部分能廉价地在学校或学院车间中制作。应用这些仪器连同对生态学非常重要的微环境气候和物理因子的清楚解释，就可能进行一系列田间的和考察性的研究。我相信这本书对纯理论研究和应用领域的各级生态学家都是很有用的。

James Beament 爵士、
理科博士、英国皇家学会会员、
剑桥大学 Drapers 农业教授、
自然环境研究委员会主席

序 言

本书是供生态学家用的，他们需要测量动、植物生活环境的局地气候，但他们不想为此而成为小气候学家。小气候学（或微气象学）是研究大气边界层的气候。边界层中，诸如温度、湿度等要素在几厘米的距离内能有显著的变化，而且动、植物也会改变它们和其它有机体所生活的气候环境。气象站所用类型的气象仪器一般不适用于这种尺度的测量，而各式各样专门的小气候仪器对生态学家是适用的（Monteith, 1972），阐明这些仪器怎样制作和如何使用是本书的任务。而且制作这些仪器并不要求有高水平的专门技能，也可制作出简易实用的仪器，本书中还包括有许多这类仪器的设计图。

前四章分别讨论了温度、辐射、湿度和风的测量，其中每一章都包括有测量原理、仪器如何操作、测量误差的原因等部分，详细地叙述了用于试验人员制作的简易仪器以及这些仪器的试验和检定程序。第五章涉及到其他方面的仪器，包括小规模温度和湿度的控制、人工光照以及为研究一个密封箱中的重量变化而制作遥控微量天平。最后一章与湿度的计算有关，包括有一组湿度查算表。附录中给出了有关如何设置电子线路和在什么地方可以买到元件和材料。

在小气候测量中，许多生态学家都希望学习更多的微气象学知识，在这个学科里已经写出了一些很好的书。这里，应该特别提到的人有：Geiger(1965)、Monteith(1973)、

Rosenberg (1974) 和Schwerdtfeger (1967) 。

最后，我想要提到一些帮助我写这本书的朋友们，虽然我从事小气候仪器制作有很长时间，但是剑桥大学应用生物学系的 Sarah A. Corbet 博士促使我专心从事一些新技术的研究项目，没有她的影响，这本书就不会着手写。我也非常感谢我的同事 P.G. Willmer 博士，他主动阅读手稿并提出许多有价值的评论和建议。

D.M. Unwin

1980年7月

目 录

前 言

序 言

一、温度	(1)
1. 温度测量	(1)
2. 温度测量中误差的主要原因	(5)
3. 测量温度的简易仪器	(7)
4. 温度传感器的试验和校准	(18)
二、辐射	(20)
1. 辐射的测量	(20)
2. 辐射测量中误差的主要来源	(25)
3. 简易的辐射测量仪器	(26)
4. 辐射仪器的试验和校准	(38)
三、湿度	(40)
1. 湿度的测量	(40)
2. 湿度测量中误差的主要原因	(45)
3. 湿度测量的简易仪器	(47)
4. 湿度传感器的校准和试验	(55)
四、风	(57)
1. 风向和风速的测量	(57)
2. 风测量中误差的主要原因	(59)
3. 测量风的简易仪器	(60)
4. 风速表的试验与校准	(64)

五、其它专题.....	(65)
1. 温度的控制.....	(65)
2. 湿度的控制.....	(67)
3. 微量天平.....	(70)
4. 人工照明.....	(73)
5. 自动记录和数据记录.....	(74)
六、湿度的计算和查算表.....	(76)
附录 电子线路和元件的供应来源.....	(93)

一、温 度

1. 温度测量

温度测量不仅其本身是重要的，也可用来确定其它小气候参数，温度测量已经利用了广泛的技术。由于很多物质的物理特性都随温度而变化，未来必然会研究出更多的测温方法。除了辐射温度表外（它也有自身的问题），所有的测温仪器测量的温度都是其传感器自身的温度，这个温度只是告诉我们它与欲测对象的温度之间的关系如何。用一个标定到百分之一度的金属护套式电阻温度表，测量土壤表面温度，其测定的准确度可能比一个标定到二分之一度的小型热电偶温度表要小。通常，传感器越小也越易于使用。用于测量温度的物理效应主要可分为以下六类：

（1）固体、液体或气体的膨胀

众所周知，温度表中的液体，如水银、酒精或甲苯等，都是装在与毛细管相连接的玻璃球或金属球中，由毛细管指示出其中液体的体积变化。玻璃球或金属球也可以连接到一个压力表或记录器上，从而指示出液体的压力变化。气体的体积变化或压力变化也可以用来指示出温度。应用固体材料的测温仪器，通常是把线性膨胀系数不同的两种材料的长度进行对比，并利用杠杆或其它机械装置来放大两者长度的相对变化量。

双金属片，是由膨胀系数相差很大的两种金属焊接在一

起构成的。双金属片的曲率是温度的函数，这种方法是用于大家所熟悉的带有钟表机构的温湿自记仪器。这一类仪器一般不适合于使用遥测指示器，虽然装有水银的球体可以通过内径很细的钢管与压力表相连接，但所能达到的距离只有几米远。对于遥示，电学的测量方法更方便些。膨胀型温度表也势必会有高的热容量和大的感应元件，而且反应也缓慢。但必须指出，膨胀型温度表很少发生什么故障，万一出了故障，通常表现明显，会及时发现。由于这个原因，膨胀型温度表常用作标准仪器。

（2）电阻的变化

纯金属的电阻随温度的增加而增加，而半导体中的锗和导电的非金属碳，其电阻随温度的增加而减小。可以利用这些效应测量温度，而且已经利用这种原理制造出了商品性的温度表。在一些较老式的电阻温度表中，使用铜线线圈作为温度传感器，目前已由铂电阻元件所取代。在这类铂电阻温度表中，是将一块铂薄膜附着在绝缘的基片上，构成具有适当高的电阻和尺寸很小的传感器。常用惠斯登电桥测量元件的电阻值，但目前更为常见的方法是对传感器通以恒定的电流而测量其电压。在生态学领域所用的温度范围内，金属电阻温度表的电阻与温度之间的相关曲线可以认为是线性的。其误差的主要来源是由于元件的腐蚀。由于这种原因，尽管用非贵重金属制作的传感器可以防腐，但还是以铂电阻元件为佳。使用不锈钢制作传感器也值得研究。在随着温度增加而电阻减小的这一类电阻温度表的元件中，最实用的是热敏电阻，对于温度变化通常它具有比金属电阻元件大得多的灵敏度，但不那么稳定，而且电阻与温度之间的关系是非线性的。热敏电阻元件可以做得很小，而且其非线性关系在电路系统中大都

能够被补偿，因此，虽然它的稳定性差，仍然是一种最常用的温度感应元件。新式的热敏电阻比早先的要稳定得多，只要避免元件受到剧烈的热冲击，其标定就能够长期保持稳定。

为了测量传感器的电阻，必须要有一定量的电流通过电阻元件，而且在电阻元件上也必定要消耗若干功率，当测量静止状态下的空气温度时，这一点就特别重要，它会导致传感器指示的数值稍微高于大气温度，而且没有办法估计这种偏高值，因为偏高的数值取决于流经传感器的空气运动情况。最好的措施是，使消耗在传感器上的功率保持最低限度，并与精确测量的精度相一致。对这种增温效应的检验方法在本章以后的段落中加以阐述。

(3) 电势的变化

在这一类仪器中，有两种测量方法：硅二极管和热电偶。当温度每升高 1°C 时，硅二极管的正向电压减小大约 2 mV ，（正向电压是：当电流以正向通过时，跨接在二极管两端所形成的电压，在室温下，它的正常数值大约是 600 mV ，这个数值也取决于电流的大小）。硅二极管的电压与电流之间的关系是线性的，而且是稳定的。这种元件的价格比热敏电阻要便宜得多。最小型硅二极管的体积要比热敏电阻大些，实际上它的灵敏度也相当小，但硅二极管的线性关系良好且成本低，因而成为一种很实用的测温元件。

热电偶是由两种不同的金属构成，它产生的热电势与其两个接点间的温差成正比。热电偶所产生的热电势是很小的（铜-镍铜电偶大约为 $38\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ ）。但是热电偶具有三个优点，即热电偶能够直接测量两点之间温差，有良好的线性关系，而且可以做得很小，如果有必要，可以做到几个微米，热电偶也没有像其它电传感器所存在的自身增热问题。

(4) 表面的辐射效应

因为任何黑体辐射源的最大发射波长是与它的绝对温度成反比(维恩位移定律),因此我们可以利用红外波段的传感器测量物体的表面辐射(波长约为 $10\mu\text{m}$),而且能够把这种表面辐射与表面反射的太阳辐射(波长为 $0.48\mu\text{m}$)相区别。这种传感器所接收的辐射强度与被测物体表面绝对温度的四次方成正比。由于其强度是温度四次方的函数,所以在生物学的温度变化范围内,这种辐射的变化是明显的。安装在飞机和卫星上的这种传感器,能够测量地球表面温度的微小变化。利用这种方法,测定的表面温度的根据是其表面的辐射率的假设,所以,其结果要慎重地加以解释。然而,似乎在小尺度测温方面,这种方法的用途日益增加。买到的表面温度辐射表能测量一定距离的表面平均温度。这类仪器通常都有相当大的接收角(约 7°),在未来的仪器设计中还有待进一步改善其分辨率。

(5) 谐振频率的变化

老式钟摆的振荡频率(因而计时)是依赖于温度的,这是因为钟摆随着温度的变化而膨胀和收缩的缘故。虽然特地切割出有实用标准频率的晶体,其温度系数非常小,但石英晶体的谐振频率也有随温度变化的同样情况。可是,也能够切割出具有较大温度系数的晶体,来很准确地测量温度。

(6) 化学制品的温度累计

这种测定平均温度的方法是利用化学反应速度随温度而变化这一事实为依据的。因此,如果一个缓慢和不可逆的化学反应,处于变动着的环境温度下时,那么根据它所发生反应的程度可以测量平均温度。最常用的反应是蔗糖的水解作用,对这种方法, Lee (1969) 曾作过技术评价。传感元件

是25ml的安瓶，装入浓的蔗糖溶液和少量的柠檬酸钠以及盐酸，使用旋光计进行测量。通过旋光度指示出蔗糖的转化程度。这种技术的明显优点是，传感元件简易而价廉。它的主要不足是蔗糖水解作用对温度变化的反应是指数的关系，而且如果传感器所处的温度变化范围大时，会导致严重的误差。总的来说，对于测量潮湿土壤或水体的平均温度，由于这些测量对象的温度变化范围不大，所以它是一种实用的方法。但对于测量近地面空气的平均温度，这种方法通常是不够理想的。

2. 温度测量中误差的主要原因

温度测量中两种最重要的误差来源不是由于测量系统的缺点造成的，而是与传感器同其周围环境耦合的状况有关。其误差主要来源是射入辐射对传感器温度的影响和传感器热容量大小的影响。由于传感器和周围介质之间耦合减弱，上述两种影响在空气中要比在水中更加重要。

仪器的热惯性取决于传感器的热容量和被测介质的性质。在测量空气温度时，热容量大的传感器不能响应短时间的温度变化，当然是否是这种情况还要取决于被测介质的种类。对于便携式的仪器，传感器的响应时间太长，读数就很不方便，一般响应时间以2到3秒较为适当。反应太快时，温度表读数困难，除非工作任务要求瞬时读数，否则应避免采用反应太快的仪器。如果许多传感器都连接到一个数据记录系统，取样又相当迅速，那么传感器的响应时间可以和取样的时间间隔相比较，如果取样稀少，那么响应时间应是一分钟左右，因此，该仪器不能记录的短周期温度变化就被排除掉了。

在温度测量中，辐射对传感器的影响是最重要的误差来源。如果温度表的传感器暴露在太阳辐射之下，太阳辐射的

一部分被传感器吸收，吸收的多少决定于传感器表面的短波吸收率，而其余部分被反射掉。因为在温度表周围的物体也能反射太阳辐射，所以温度表传感器也会接收到由它们反射来的短波辐射，同时传感器也还会接收附近物体放射的长波辐射，当然，传感器本身也要放射长波辐射，所以不难想象，传感器本身的温度与其周围空气的温度是有差异的。如果传感器总的辐射收入超过支出（即净辐射是正值，通常在白天发生这种情况），那么传感器的温度会高于空气温度；而当其总的辐射收入比支出少时（即净辐射为负值，这种情况常发生于夜间，有时白天在露天阴影处，也会发生这种情况（Stoutjesdijk, 1974）），这时，传感器的温度会低于空气温度，而这种差值的大小取决于传感器的表面状况、是否有屏蔽措施以及风速的大小。气象仪器通常都安置在漆成白色的百叶箱内，其目的是屏蔽仪器以防辐射影响。百叶箱能够自然通风，但在箱外风速很小情况下，会产生明显的误差。所以，当要求很准确的测温时，应使用通风型屏蔽罩，这种屏蔽罩是用电动风扇抽吸空气，使气流通过屏蔽罩流经传感器。如果是一个大的传感器，如常用于测量空气温度的玻璃水银温度表，那么可以采用两种简易的防护措施，即用高质量的白色光泽漆把温度表球部涂成白色，并安装上一个屏蔽罩（图1），只要有点风速，它就能测量出相当近似的空气温度值。当仪器在自然通风情况下使用时，传感器的大小对测量精度也有影响。对尺寸很小的传感器，只需要很少量的

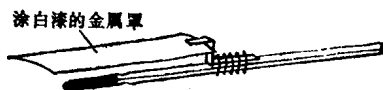


图1 用于水银温度表的防辐射罩

空气流经传感器，就能使传感器和空气之间的温度差异减小到误差允许的限度。

3. 测量温度的简易仪器

(1) 热敏电阻温度表

热敏电阻的温度与电阻之间的关系如图 2 所示：它们的关系是曲线而不是直线，这种非直线关系是应用热敏电阻的主要缺点。虽然完全可以通过标定仪器的办法而把这种曲线关系考虑进去，但还是使用线性尺度更为方便，只需用一个适当值的电阻与热敏电阻并联，就能够得到线性尺度，与其并联的电阻数值（图 3 和图 4 中的 R ），取决于热敏电阻的特性，这种补偿并不够精确，但只要注意就能够使热敏电阻的线性化达到。在温度范围为 $0-30^{\circ}\text{C}$ 时，其偏离线性误差在 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 以内，而在 $0-40^{\circ}\text{C}$ 的温度范围时，误差在 $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ 以内。超过这个范围，会产生严重的误差。如果要求测量的温度范围更宽，那就应当考虑使用其它种类的传感器，如硅二极管或金属电阻温度表。如果使用这种非线性尺度不影响所要求的精度，那么对范围宽的温度测量，完全可以使用热敏电阻温度表。虽然热敏电阻是很灵敏的元件，但是为了能够推动电表指示温度，还需要进行放大，可用一个简单的集成电路运算放大器来完成，如图 3 所示。但如果使用灵敏度高的数字面板表作指示器，那就不需要放大，图 4 所示的线路图中就是使用了这种方法。

图 3 和图 4 所示的两种测量线路设计是相同的，热敏电阻 (T) 和它的补偿电阻器 (R) 组成电桥的一个臂，电桥在 0°C 时是平衡的，通过调节多圈前置电位器 (Q) 来调定。在使用模拟电表情况下，电表标尺上的最大读数，或者使用

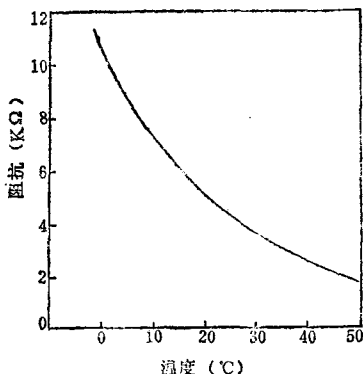


图2 用于图3和图4线路的热敏电阻的电阻与温度的相关曲线

数字表时测温上限的设定点，都是用调整电桥电压的电位器(S)来确定。有人建议选择30或40℃作为温度上限的设定点，这要取决于测温范围和要求的精度。为了仪器读数精确，补偿电阻器(R)应选择在测温区间的中点，用于这些设计上的热敏电阻，其电阻值可选择在4kΩ左右。如果测温上限和0℃点已经设定，这时若发现在测温区间的中点上电表的读数偏高，就应减小R的数值。当测温上、下限的极端值和中点值都已精确地设定，将会发现仪器偏离线性的误差是呈“S”形的，读数的最低点是在测温区间1/4的位置，最高点是在3/4的位置。在热敏电阻上功率耗散的精确数量，取决于每个热敏电阻的特性和被测介质的温度情况，但其耗散功率量是在1μW左右。在这种耗散功率条件下，由于热敏电阻自身增热而产生的误差将是很小的，关于这个问题，将在本章后面的试验和校准一节中作进一步讨论。

可能认为这种型式的仪器不需要使用昂贵的读数精确到十分之一度的数字面板表，但事实上不然。目前数字面板表