



面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

气象学实习指导

北 方 本

刘 江 高西宁 主编

非气象专业用

 中国农业出版社

面向 21 世纪课程教材

Textbook Series for 21st Century

气象学实习指导

北方本

刘 江 高西宁 主编

非气象专业用

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

气象学实习指导: 北方本 / 刘江, 高西宁主编. —北京: 中国农业出版社, 2005. 12

面向 21 世纪课程教材

ISBN 7-109-10573-3

I. 气... II. ①刘...②高... III. 农业气象-高等学校-教学参考资料 IV. S16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 159911 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 傅玉祥

责任编辑 毛志强

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×960mm 1/16 印张: 6.25

字数: 103 千字

定价: 9.80 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

全书共分8个实习,介绍了气象要素观测、气候资料的统计方法、农业小气候的观测等内容。在每个实习后面编写了一至多个实习作业,学生通过实习并完成作业,可以达到对气象学基础理论和基本实践技能的掌握。

本教材突出对学生实际操作和观测技能的培养,同时根据农业气象观测要求介绍了农业小气候基本观测知识和方法。本教材内容能够满足《气象学》课程的各实践教学环节的需要,具有一定的科学性和先进性,能较好地适应生产实际,适应各行各业的需要。学生今后无论在基层或科研部门工作,都能适应现代农业技术的需求,更好地开展工作。

主 编	刘 江	高西宁
副主编	殷 红	王 谦
编写人	刘 江	沈阳农业大学
	高西宁	沈阳农业大学
	殷 红	沈阳农业大学
	王 谦	河南农业大学
	刘克长	山东农业大学
	许秀娟	西北农林科技大学
	穆婉红	西北农林科技大学
	高大翔	天津农学院
	黄 杰	山西农业大学
	李永宁	甘肃农业大学

前 言

《气象学实习指导》(北方本)是高等教育“面向 21 世纪课程教材”《气象学》(北方本)的配套实习教材。全书共分 4 个部分:第一部分是气象要素的观测,包括实习一 观测场的选择与建立;实习二 太阳辐射的观测;实习三 空气温度和土壤温度的观测;实习四 空气湿度的观测;实习五 降水和蒸发的观测;实习六 气压和风的观测。第二部分是实习七 气候资料的统计。第三部分是实习八 农业小气候观测。第四部分是附表。其中第一部分系统阐述了气象观测的程序、方法和步骤,并详细介绍了各种常规气象仪器的感应原理、构造、性能、安装和使用方法;第二部分介绍了气候资料的整理、统计、制图、分析和应用方法;第三部分介绍了农业小气候基本观测知识和方法。这三部分的实习内容不仅与理论教材相衔接,而且前后呼应,具有一定的科学性和先进性,能较好地适应生产实际,适应各行各业的需要。每个实习都编写了实习作业,11 个附表给出了完成作业所需的部分资料,要求学生在实习时能够认真操作并独立完成作业,以期达到对气象学基本理论和基本实践技能的掌握。

该实习指导内容丰富,实用性强,实际教学中可根据课程学时数和各院校具体条件作相应取舍。实习安排一般分为室外观测和室内分析完成作业两大块,实习一至实习七可以随着理论教学分散进行,实习八可以用 3 天左右时间集中完成。教学时遵循理论与实践相结合的原则,在教师辅导与示范的前提下,使每个学生都动手操作,独立完成规定的实习内容。

《气象学实习指导》(北方本)是我国北方 7 所高等农林院校全体气象学教师共同努力的结晶。由于我们水平有限,在内容取舍和安排等方面难免存在不足和谬误之处,希望得到使用本教材的师生及有关专家的批评指正。

编 者

2005 年 8 月

目 录

前言

实习一	观测场的选择与建立	1
实习二	太阳辐射的观测	7
实习三	空气温度和土壤温度的观测	19
实习四	空气湿度的观测	30
实习五	降水和蒸发的观测	38
实习六	气压和风的观测	44
实习七	气候资料的统计	55
实习八	农业小气候观测	71
附表 1	日照时间表	80
附表 2	辽宁省沈阳、大连、丹东、锦州 2000 年日平均温度资料 (°C)	81
附表 3	辽宁省沈阳、大连、丹东、锦州 2000 年各月平均气温 (°C)	83
附表 4	辽宁省沈阳、大连、丹东、锦州多年各月平均气温 (°C)	83
附表 5	辽宁省沈阳、大连、丹东、锦州历年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温 (°C)	83
附表 6	辽宁省沈阳、大连、丹东、锦州历年降水量 (mm)	84
附表 7	沈阳各月多年平均气象要素资料	84
附表 8	W 值 (温度、海拔与可能蒸散量的关系)	85
附表 9	在一定的气压下用水分蒸发的毫米数所表示的水平面上的 太阳辐射量 R_a 值 (北半球)	86
附表 10	气温为 $T\text{K}$ 时的黑体辐射 $\sigma T\text{K}^4$ (mm/d)	87
附表 11	不同温度 ($T^{\circ}\text{C}$) 条件下的饱和水汽压 (e_a) 的百帕数	88

实习一 观测场的选择与建立

【实习目的】

通过本实习掌握气象观测资料的要求，观测场的选择、建立、仪器的布置，气象观测的项目与程序。

【实习内容】

包围着地球表面的大气一刻不停地运行和变化，气象观测的目的就是要将大气中发生的各种物理现象及其演变过程进行系统的、连续的观测和测定，从而获得大量的、客观反映大气状态和各种物理现象的丰富资料，为天气、气候分析、科学研究和农业生产提供重要的依据。

一、气象资料的“三性”

气象观测所得到的资料，广泛应用在农业、林业、畜牧业、水利、交通运输、国防等国民经济的各个部门，因而它必须是系统的、连续的，并要有三个特性：

1. 代表性。指所测得的某一要素值在规定的精度范围内，不仅能够反映该测点的局地情况，而且能够反映测点周围一定范围内该要素的平均情况。
2. 准确性。要求气象观测记录能准确地反映出当地、当时的实际天气状况。
3. 比较性。指不同测站同一时间取得的同一要素值能够进行互相比较并显示出这个要素的地区分布特征，另外也指同一测站不同时间的同一要素能够进行比较，以说明要素随时间的变化特点。

二、观测场环境条件的要求

为了获得具有“三性”的气象资料，气象观测场应该选在四周平坦、空旷、无任何障碍物，且能反映本地较大范围气象要素特点和土壤特性的地方，尽量避免高山、洼地、丛林、高大建筑物、公路、工矿等的影响，具体对环境条件的要求是：

1. 在城市或工矿区设立观测场应选择在经常出现风向的上风向。
2. 观测场四周必须空旷、平坦，观测场边缘与四周孤立障碍物的距离至少是该障碍物高度的3倍以上，两个孤立障碍物最近的横向距离不得小于30 m。
3. 距离成排障碍物的距离至少是该障碍物高度的10倍以上。

4. 观测场四周 10 m 内不能种植高秆作物, 以保证气流畅通。

5. 气象站周围的工程设施边缘与气象站观测场围栏的距离要求是: 铁路路基必须为 200 m 以上; 公路路基必须为 30 m 以上; 水库等大型水体必须为 100 m 以上; 对观测环境有害的污染源, 其边缘与气象站观测场围栏的距离必须为 500 m 以上。

6. 对于自动化观测场还应注意, 观测场周围不得有使传感器观测值发生异常变化的各种干扰源。

在有特殊需要的地方, 可建立专业观测场, 如高山、森林、农场等, 以便获得分析局地气候特点和气候条件的气象观测资料。

三、观测场的要求

1. 观测场大小一般为 $25\text{ m} \times 25\text{ m}$ 。如确因条件限制, 可为 16 m (东西向) $\times 20\text{ m}$ (南北向)。高山、海岛站不受此限。

2. 为保护观测场地的自然状态, 场内要铺设水泥预制板小路, 小路下面建成地沟。

3. 观测场四周应设高度约 1.2 m 的稀疏围栏, 必须能保持气流畅通。

4. 场地应平整, 保持有均匀草层, 草高不能超过 20 cm, 冬天有积雪时, 除小路上的积雪可以清除外, 应保护场地积雪的自然状态。

四、观测场内的仪器布置

观测场内仪器布置的基本原则是各仪器互不影响, 便于观测和操作, 具体要求如图 1.1 所示:

1. 高的仪器安置在北面, 低的仪器顺次安置在南面, 东西排列成行, 南北向相互交错。

2. 仪器之间南北间距不小于 3 m, 东西间距不小于 4 m, 仪器距围栏不小于 3 m。

3. 观测场门开在北面, 仪器安置在紧靠东西向小路的南面, 观测人员应从北面接近仪器。

五、地面气象观测与观测程序

1. 地面气象观测的基本项目。气压、空气温度、空气湿度、风向、风速、蒸发、降水、日照、地温、云状、云量、云高、天气现象、能见度、雪深、雪压、冻土和电线积冰等。专为农业服务的观测站, 可只观测与农业生产有关的气象要素, 如空气温度、湿度、降水量、日照、风、地温。

2. 气象观测的次数和时间。人工观测的气象站, 以北京时间 2 时、8 时、14 时、20 时 4 次或 8 时、14 时、20 时 3 次定时观测。气象要素的观测以北京时间 20 时为日界, 日记项目以北京时间 24 时为界, 日照以日落为界。

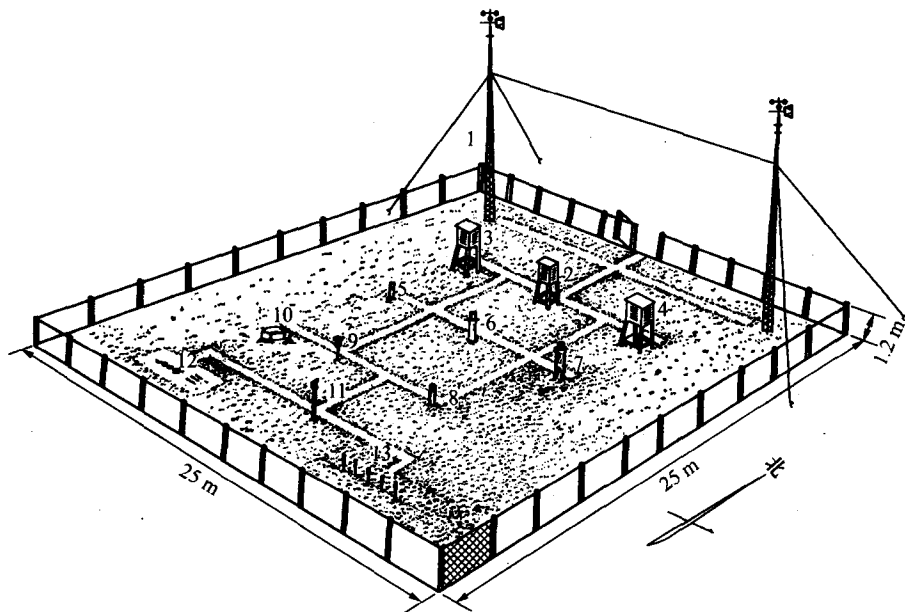


图 1.1 观测场仪器布置参考图

1. 电接风向风速仪 2. 小百叶箱 3、4. 大百叶箱 5. 备用雨量器 6. 翻斗式雨量计
7. 虹吸式雨量计 8. 雨量器 9. 小型蒸发器 10. E-601 型蒸发器 11. 日照计
12. 地面及浅层地温表 13. 冻土器及深层地温表

配备遥测仪的自动观测台站，气压、空气的温度和湿度、风向、风速、雨量和地温等遥测项目每小时观测一次，云、能见度每 3 h 观测一次，天气现象连续进行观测。

3. 观测程序。为使各观测站记录的数据具有比较性，中国气象局统一规定了各气象要素的观测时间和顺序。原则是先观测在短时间内变化不太大的气象要素，接近正点时观测易变化的要素，详见表 1.1。

表 1.1 定时气象观测程序表

北京时间		定时观测项目及观测顺序
定时观测		
8、14、20、2	正点前 30 min	巡视仪器及观测准备工作，特别注意湿球是否湿润或需要融冰
8、14、20、2	正点前 20 min~正点	云、能见度、天气现象、空气温度和湿度、风、气压、0~40 cm 地温
8		降水、冻土、雪深、换降水自记纸

(续)

北京时间		定时观测项目及观测顺序
定时观测		
14		0.8 m、1.6 m、3.2 m 地温, 换气压、温、湿自记纸, 13 时换电接风自记纸
20		降水、蒸发、最高最低气温和地面最高最低温度, 并调整以上温度表
日落后天黑前		换日照纸

六、观测员的基本职责

1. 要树立对气象事业高度负责的精神, 坚守工作岗位, 密切注视天气变化。

2. 要严格按照规范的规定进行观测, 严禁漏测、迟测、早测, 只能记载自己亲眼看到的数据和天气现象, 绝对禁止用任何估计或揣测的办法来代替实际观测。

3. 正确地安置和使用仪器, 观测前应对仪器设备进行巡视, 避免影响记录准确性的临时事故发生。经常进行仪器的清洁、维护工作。

4. 注意保护观测场内的自然植被, 对周围地形、地物、建筑物等环境条件的变化必须及时记载, 以备日后考查。

5. 要认真填写各种观测簿、表, 字迹整洁清晰。

七、确定观测场地理位置、方位的方法

1. 经纬度的测定方法:

(1) 用地图查经纬度。一般采用大比例尺的地图 (1:5 000 或 1:10 000 的比例图) 来查算经纬度。查算时, 先在地图上找到测站的位置, 通过该点分别做经线和纬线的平行线, 然后将这两条平行线各分成 10 等份, 便可查算出测站的经度和纬度。

(2) 时差法。在晴天, 于观测场内垂直立一杆子, 确定其子午线, 在正午时, 当杆影与子午线重合, 这一时刻 (T_0) 与北京时间 12 时 (T_m) 间的差值为时间差, 即时差 = $T_0 - T_m$, 按时差每变化 4 min 经度变化 1° 的关系, 可以将时差换算成经度。这样, 所求的经度为:

$$\text{测点经度} = 120^\circ\text{E} \pm \text{由时差换算成的经度}$$

如果测点正午时刻 (杆影与子午线重合的时刻) 比北京时偏早, 说明测点在 120°E 以东, 应在 120°E 中加上由时差换算成的经度, 反之减去, 由此可确定测点的经度 (时差也可在天文年历中查得)。

此外, 还可利用全球卫星定位系统 (GPS) 来确定测点的经纬度。

2. 测点方位 (即子午线) 的确定。通过测点与地球南北极的平面为通过测点的子午面, 子午面与地球面的交线为子午线, 即为测点的方位。

在农业小气候工作中, 在水平方向上, 通常划分为 16 个方位, 以当地子午线为南北线。16 个方位的表示方法如图 1.2 所示。有时, 也用角度表示并划分为 360° 或 $\pm 180^\circ$ 。在太阳辐射的计算和观测中, 使用 $\pm 180^\circ$, 以正南为 0° , 正北为 180° , 正东为 -90° , 正西为 $+90^\circ$ (图 1.2)。

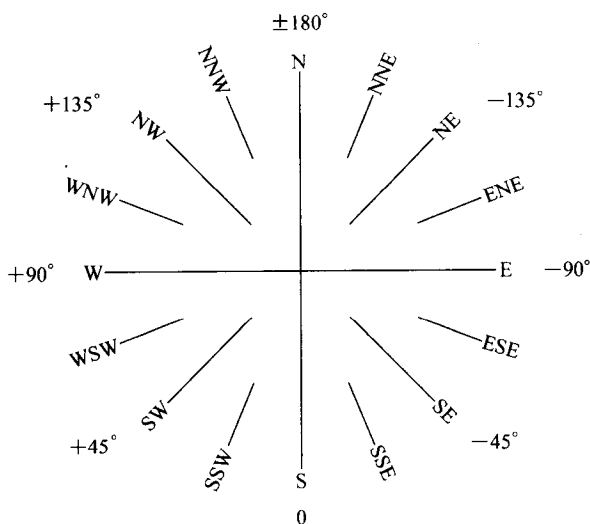


图 1.2 方位图

(1) 罗盘法。在选好的测点固定罗盘仪, 然后调松罗盘磁针, 使其自由转动, 定好磁南北后, 根据磁偏角旋转水平盘使其与真南北一致, 然后固定水平度盘。通过罗盘仪镜筒中的十字线, 标定垂直立在地上的两个测杆, 使它们在十字线铅直线位置上, 连接两测杆的线即为南北线 (测点子午线)。

罗盘磁针指示的子午线为磁子午线, 它与子午线之间有一个磁偏角, 需要进行磁偏差订正 (磁偏差订正值可在各地磁差图上查出), 偏东加上订正值, 偏西则减去订正值。这种方法比较简单, 但有一定的误差。

(2) 太阳高度定位法。在选好的测点于晴天铅直立一个测杆, 从真太阳时 8 时开始, 每一小时在竿影上插一根标杆, 直到下午为止, 然后标出测杆位置, 绘出真太阳时 12 时的杆影, 此影即为南北线。测杆基点为南, 标杆基点为北。

在太阳高度角较大时, 正午的杆影很短, 尤其当杆影较粗时, 用此法测定

南北线易出现较大的偏差。因此，可以根据真太阳时 11 时与 13 时，10 时与 14 时，9 时与 15 时，8 时与 16 时的杆影所夹之角的角平分线的平均位置定为南北线。

(3) 北极星定位法。在晴朗的夜晚，于测点垂直立一根长 4 m 左右的杆子，然后目测，当人的眼睛、杆顶、北极星三点成一条直线时，则人体立足中心点与直杆立足点的连线即为测点子午线。

【实习作业】

1. 为什么要选择代表性好的地点作观测场？
2. 观测场内仪器应该如何布置？

实习二 太阳辐射的观测

【实习目的】

了解测量太阳辐射、日照时间、光照度时常用仪器的构造原理，掌握太阳辐射、日照时间、光照度的观测方法。

【实习仪器】

日照计、总辐射表、直接辐射表、散射辐射表、净辐射表、辐射电流表、照度计等。

【实习内容】

太阳以辐射的形式将光和热输送给地球，成为地球上一切生命活动的主要能量源泉。太阳的光和热对植物的生长、发育、产量、品质都有十分重要的作用。在农业气象工作中，研究光能利用时，主要从日照时间、光照度、光谱成分三方面来讨论光对植物的影响。

一、日照时间的观测

日照时间的观测就是测定一个地区实际受到阳光照射时间的长短，也称实照时数，可为农业生产中的引种、栽培等提供依据。

一个地方日照时间的长短通常用日照百分率来表示。日照百分率是指某地的实照时数占该地同期可照时数的百分比。即：

$$\text{日照百分率} = \frac{\text{实照时数}}{\text{可照时数}} \times 100\%$$

可照时数是指太阳中心从出现在一地的东方地平线到进入西方地平线，其直射光线在无地物、云、雾等任何遮蔽条件下，照射地面所经历的时间，可照时数是地理纬度和季节的函数，可以用太阳高度角公式计算出。

实照时数是指太阳实际照射地面的时数，观测实照时数的仪器有暗筒式和聚焦式日照计两种，日照时数以小时为单位，取一位小数。

1. 暗筒式日照计的构造原理。仪器的构造如图 2.1 所示，主体为一金属圆柱筒，筒

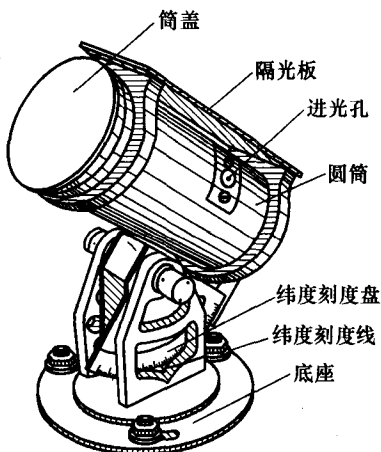


图 2.1 暗筒式日照计

的一端封闭，一端有盖，筒的上部有一块隔光板，筒身上在隔光板的两侧边缘的同一垂直面上，各有一个圆锥形进光小孔，两孔前后位置错开，与圆心的夹角为 120° 。筒内有一弹性压纸夹，用以固定日照纸。圆筒下部有固定螺丝，松开螺丝后，圆筒可绕支架轴旋转，支架下部有纬度刻度盘与指示纬度的刻度线。仪器底座上有三个等距离的孔，用以固定仪器。

2. 感光迹线形成的原理。暗筒式日照计是利用感光显影的原理，根据感光迹线的长短来计算日照时数的。如图 2.2

所示，上午，光由小孔 A 射入暗筒内，在感光纸上留下了感光点 B，当太阳由小孔 A 射入暗筒内，在感光纸上留下了感光点 B，当太阳在天空中由 S 点移至 S' 点时，筒内感光纸上的光点随之由 B 点移到了 B' 点。这样光点在感光纸上移动的轨迹就形成了一条弧形的感光迹线 BB'。下午的感光迹线也是这样形成的。当太阳光被云遮蔽时，无直射光射入暗筒，感光迹线中断。因此，根据暗筒内

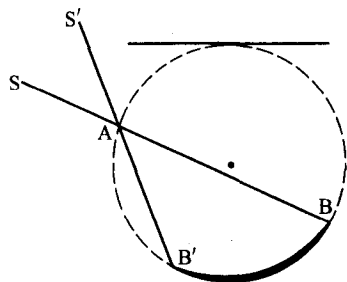


图 2.2 感光迹线形成示意图

感光迹线的长短，便可查算出每一日的太阳实照时数。

3. 感光迹线的特点和形式。在不同的季节，日照纸上的感光迹线是不同的。归纳起来有如下特点：

冬半年的感光迹线在上方且向上凸起，夏半年的迹线在下方且向下凹，春分、秋分迹线恰好在中间且为直线；冬半年和夏半年，上、下午两条迹线都是在 8 时或 16 时处距春分、秋分直线的距离最远（图 2.3）。

感光迹线的这些特点是太阳光线在一年中与地球赤道平面的夹角不断变化的结果。

感光迹线的型式是：上、下午的两条迹线等长且对称（即 12 时对 12 时，11 时对 13 时，……）；上、下午的感光迹线以 12 时为界，即上午的迹线刚好在 12 时结束，下午的迹线刚好在 12 时开始（图 2.3）。

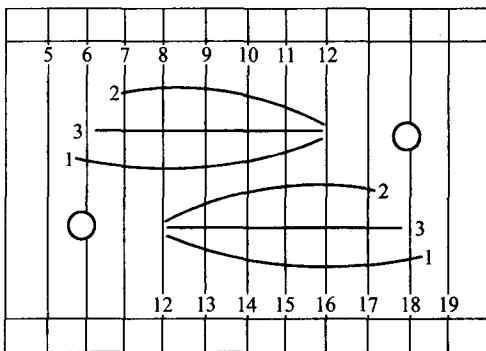


图 2.3 日照纸感光迹线图

4. 日照计的安置。日照计应安置在终年从日出到日没都能接受到太阳辐

射的地方。通常安置在观测场南部距地面 1.2 m 的支架上，也可安装在平台上。安置日照计的要求如下：

(1) 仪器安装要水平，防止感光迹线变形，可以使用仪器底座上的水准器进行调整。

(2) 仪器安置在台座上，筒轴对准南北线，筒口对准正北方向，转动筒身，使支架上的纬度记号对准纬度盘上当地纬度值，这样筒轴与地轴平行。

(3) 仪器安置要牢固，防止其松动而影响观测资料的准确性。

5. 观测方法：

(1) 感光纸涂药的要求与方法：

要求：涂药应在暗处或夜间弱灯光下进行。并在暗处阴干后暗藏备用，严防感光。

方法：感光药剂柠檬酸铁铵 $[\text{Fe}_2(\text{NH}_4)_4(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_3]$ 与水的比例为 3:10，显影药剂赤血盐 $[\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 与水的比例为 1:10，将按此比例配好的药液分别存放于深色瓶中于暗处存放。使用时，将已经配制好的两种药液在暗处等量混合，均匀地涂在空白的日照纸上，或者先将已配制好的柠檬酸铁铵药液涂刷在日照纸上，阴干后备用。每天换下日照纸后，再将感光迹线处用脱脂棉涂上赤血盐，便可显出蓝色的迹线。

(2) 每天在日落后更换日照纸，即使是全日阴雨，无日照记录，也应照常换下，以备日后查考。上纸时，注意使纸上 10 时线对准筒口的刻线，14 时线对准筒底的刻线；纸上的两个圆孔对准两个进光孔，压纸夹叉向上，将纸压紧，盖好筒盖。如采用无压纸夹的日照计，换纸时将自记纸折成“W”形状，插入筒底再将自记纸展平，盖好筒盖。

换下的日照纸应依感光迹线的长短，在其下描画铅笔线。并按铅笔线计算各时的日照时数，以十分法记录，精确到小数点后一位。然后将日照纸放入足量的清水中浸泡 3~5 min（全天无日照的纸，也应浸泡），拿出阴干后，再复验感光迹线与铅笔线是否一致。如感光迹线比铅笔线长，则应补描上这一段铅笔线，并改正原计算的日照时数，填上日合计。日照纸上每小格是 0.1 h，一大格是 1 h，计算精确到 0.1 h，如果全天无日照，记 0.0。

二、光照度的观测

植物在进行光合作用时，主要利用太阳能的可见光部分，光照度直接影响植物光合作用的强弱，从而影响植物体内有机物质的合成和积累，因此，植物光合作用强度可以用光照度的大小来衡量。光照度即单位面积上的光通量，其单位是 lx，通常用照度计进行测定。

1. 照度计的构造。一般的照度计由感应和指示两部分构成。感应部分采

用硅光电池或硒光电池做感应元件，装在圆形盒内，称作探头；指示部分是精密微安电流表，有指针式和数字式两类。

2. 测量原理。照度计是利用光电效应原理，根据感光电流的大小来测定直射光的光照度。把探头放入测点后，光电池就会根据光的强弱而产生相应的电流，光电流的大小决定于光能的强弱。光电池与电流表用导线连接，这样由电流表就可以读出测点的光照度。

3. 使用方法。以 ZDS-10 型照度计为例，介绍一下照度计的一般使用方法：

(1) 将探头连线插头插入电流表输入插口，探头置于被测点。

(2) 将开关拨向“ON”位置。

(3) 打开探头遮光罩，则仪器显示屏就显示出被测点的照度读数。

若测量场合的照度多变时，为了便于读数，可将读数保持开关拨向“HOLD（保持）”一端，便可使显示屏上的读数保持不变；待读数结束后再将开关拨向“ON”一端，可进行下一次测量。

当仪器工作时，如液晶显示屏左上方出现“LOBAT”符号时，说明机内电源电压不足。

仪器使用完毕，应将电源开关拨向“OFF”位置。

4. 维护。照度计是比较精密的仪器，使用时要避免剧烈震动；感应元件（探头）严禁用手触摸或用硬物摩擦；电流表上的有机玻璃盖和液晶显示屏也不要用力擦拭，以免引起静电感应，如有灰尘可用毛刷轻轻拂去。照度计应在 0~40℃、湿度小于 85% 的清洁无腐蚀气体的环境中存放。

5. 农田中光照度的观测。就照度计而言，无论采用硅光电池还是硒光电池做感应元件，目前来看，主要是由于材料的原因，仪器的准确性还是很不理想，表现为：

(1) 同一光照下，两个照度计同时测量的光照度读数有差异。

(2) 同一照度计在用不同量程测量时，读数也有差异。

(3) 仪器的稳定性差，初始较准确，使用时间长了就会产生较大的误差。

鉴于以上原因，测得的光照度就缺乏代表性，为了解决这个矛盾，例如，在农田中观测株间光照条件时，往往采用相对照度。

相对照度是用同一照度计测定植株间的照度，同时又测定株顶无枝叶遮蔽处的太阳光照度，计算两者的百分比即为相对照度。采用相对照度可以消除两个照度计之间的仪器误差，具有一定的比较性，但不能消除因使用不同量程而产生的误差。

在测定株间光照度时，由于植株叶片的空间分布很不均匀，使得植株间照