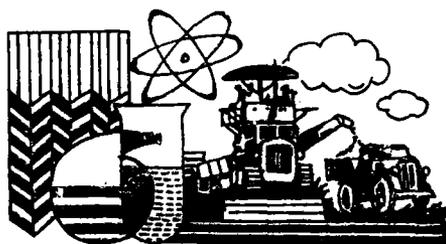


# 植物的物理性质及其在农业上的开发利用

习 岗 李伟昌

(华南农业大学理学院 广州 510642)

植物的物理性质包括植物的力、热、电、光等性质.对植物物理性质的研究及其开发利用在现代农林科技中具有十分重要的意义.本文介绍活体植物所具有的某些物理性质,并简要说明它们在农业上的应用.



在一定程度上评价植物抗旱性的优劣.在实际应用中,人们已经开发出了一整套测定 $\epsilon$ 的PV(压力-容积)技术,利用压力室,结合上式就可以很方便的求出 $\epsilon$ .

## 一、植物的力学物质

### 1. 植物细胞的弹性性质

植物细胞壁是一个由多聚化合物构成的具有弹性的体系,当受到力的作用(如体内的膨压或外力)时,细胞壁会发生形变,植物细胞的这种弹性性质可以通过细胞弹性模量来表达.植物细胞的弹性模量 $\epsilon$ 定义为

$$\epsilon = V \cdot \frac{dP}{dV}$$

其中, $P$ 为细胞膨压, $V$ 为细胞共质体水的体积. $\epsilon$ 值愈大说明细胞壁愈坚硬,弹性愈小;反之则说明细胞壁愈柔软,弹性愈大.

当细胞内束缚水体积很小时,上式中细胞体积协变 $dV/V$ 可近似用相对含水量 $RWC$ 的变化来代替,这样,上式就变为

$$\epsilon = \frac{dP}{dRWC}$$

该式是实际中常用来计算细胞弹性模量的公式.对大多数植物,其 $\epsilon$ 值具有兆帕的数量级.

上述细胞弹性模量的概念及其计算公式已用于植物抗旱性的研究.研究表明,植物受旱时,细胞壁变厚, $\epsilon$ 变大,坚硬的细胞壁有利于保持细胞体内的水分,维持较高的水势与膨压,从而促进了植物对干旱的适应性.因此,用 $\epsilon$ 可以

## 2. 植物抗弯曲性质

如前所述,植物细胞具有弹性,其弹性性质可用细胞弹性模量来表达.同样,植物茎秆或枝条也具有一定的弹性,其弹性也可用相应的组织弹性模量来描述.由于植物的茎秆或枝条具有弹性,因而,当它们受到外力矩作用时,就具有一定的抗弯曲特征.显然,这种抗弯曲特征与组织弹性模量密切相关.

按照力学原理,当植物的茎秆或枝条在重力作用下弯曲时,其弯曲程度取决于重力矩与茎秆内力矩的平衡.由于植物的茎秆或枝条一般都较长,因此,当其弯曲时,重力矩会随弯曲程度迅速增加,然而内力矩的增加却有一定的限度,这样,当弯曲到一定程度时,就会造成茎秆或枝条的折断.因此,在大自然造就的植物的结构设计中,对一定的植物,其高(长)粗比就有一定的限制条件.

若将茎秆或枝条视为实心圆柱体,按照力矩平衡原理可以证明,茎秆或枝条能够承受自身重力矩而不发生折断的临界高度(或长度)与其半径的关系为

$$l_{\text{临界}} = cr^{2/3}$$

其中, $c$ 为由组织弹性模量决定的常量.显然, $c$ 愈大,植物的临界长度可以愈长,植物的抗弯强度就愈大.因此,上式可作为评价植物抗弯

性质的判据,实验已经证明了这个判据的准确性。

在农业应用上,上式可以提供一个在作物栽培、育种、株型选育等方面的参考指标.通过实验的方法测出  $l_{临界}$  与  $\gamma$ , 就可以知道  $c$  值,通过  $c$  值可以评价作物的抗弯强度,即抗倒伏特征。

## 二、植物的热学性质

### 1. 种子萌发时的产热性质

植物种子在萌发过程中由于发生一系列的生理代谢活动必然导致热量的产生.经测定,对不同的植物品种,其萌发时产热的热功率约为几十~几百微瓦.用微热量热器连续测定种子萌发过程中的热量变化,可以获得各种植物种子萌发过程中的“热谱图”(即热功率与萌发时间的关系曲线).实验发现,不同植物品种的热谱图上显示的强放热峰个数基本相同,而且证实了无论何种品种,其热谱图上第一个明显的强放热峰是萌发过程中淀粉水解的热效应;第二个明显的强放热峰是各种蛋白质和脂肪合成与分解时产生的热效应.实验表明,各种植物种子萌发时的热谱图具有不同的特征曲线,而且重现性良好,因此,有可能利用这种热谱图来鉴别不同的植物品种。

研究种子萌发时的产热性质对现代农业中光温敏核不育水稻的研究具有极为重要的意义.现代农业中对于核不育系水稻到底是光敏因子还是温敏因子主控育性的转换,过去只能通过长期的选育实验或在人工气候箱中培育才能了解.如果利用前述的热谱图就可以提供一种简易的区分方法.因为以光敏为主的稻种在完全黑暗的条件下萌发时间比在光下要长,而温敏为主的稻种在暗条件下萌发和在感光条件下萌发没有明显的差别.因此,通过比较感光条件下和暗条件下的热谱图,就可以将光敏与温敏水稻种区分开来.此外,利用热谱图还可以鉴定光(温)敏性的强弱。

### 2. 植物组织的“过冷却”性质

由于植物组织内含有各种糖类、化合物及矿物质,因此,在低温下植物组织会出现冰点下降的现象,此时组织的结冰温度常称“过冷却点”.显然,植物组织的过冷却点愈低,其抗冻性就愈强,因此,在应用中可将过冷却点的高低作为植物抗冻性强弱的指标。

一般而言,随着环境温度的降低,植物组织的过冷却现象要涉及两个放热过程.首先,当环境温度下降至过冷却点时,引起细胞外结

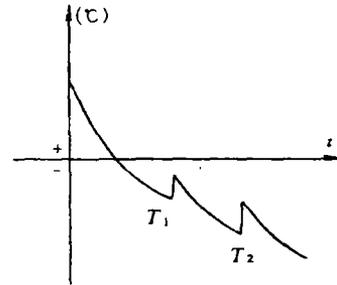


图1 植物组织的过冷却现象示意图  
 $T_1$ : 第一次放热;  $T_2$ : 第二次放热

冰,导致产生大量的溶解热(第一次放热);随着温度的进一步降低,引起细胞内结冰,出现第二次放热(如图1).根据这个特性,将植物组织粘于热电偶上,通过光电检流计上光电位置的移动就可以观察到组织温度的变化和两个过冷却点.表1给出了几种植物叶片的两个过冷却点。

表1 几种植物叶片的过冷却点

名称	$T_1(°C)$	$T_2(°C)$
小麦	$-6.6 \pm 0.8$	$-8.7 \pm 1.6$
蚕豆	$-6.1 \pm 0.6$	$-6.3 \pm 1.5$
油菜	$-6.0 \pm 0.6$	$-9.9 \pm 1.2$
甘蓝	$-4.4 \pm 0.7$	$-7.2 \pm 1.2$
罗汉松	$-7.1 \pm 0.9$	$-9.6 \pm 0.6$
南天竹	$-11.1 \pm 0.8$	$-12.7 \pm 0.6$

根据过冷却点来判断植物抗冻性的强弱已经得到了许多实验的证实,按此原理已经开发出了研究抗寒性与抗冻性的差示热分析仪.由于这种方法具有快速、简易、且不损伤植物的特点,因此具有很强的实用价值。

### 三、植物的电学性质

#### 1. 植物组织的电阻性质

在植物组织中,由于存在着各种类似细胞膜这样的带电体系以及各种带电离子的运输,因此,在植物组织中存在着电阻.实测结果表明,细胞膜系统的电阻率达 $10^3-10^4 \Omega \text{ cm}$ ,与5nm厚的油层相似;对叶组织,其电阻率更可达 $10^5-10^6 \Omega \text{ cm}$ .

从结构上看,植物组织可分为质外体和共质体,其中,质外体由细胞壁、细胞间隙和导管组成,共质体由胞间连丝所贯通的相邻细胞的原生质所组成,在电学性质上可将共质体与质外体视为相互并联的两条支路(见图2).在图2中,质外体电阻( $r_a$ )由质外体中的离子电导率所决定,共质体电阻( $r_s$ )由膜电阻、胞内电阻以及胞间电阻相互串联而构成.

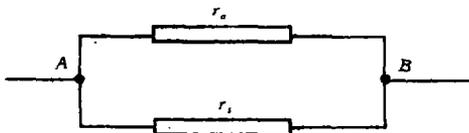


图2 植物组织的电路模型

对于植物组织电阻的实验测定方法,一般都是通过两个电极点给组织引进一个电流,利用交流电桥或直流电桥的平衡调节来获得电阻读数.根据这个原理,目前已经开发成功了稳流中段电压降法和针刺电极法等多种方法.在电阻的测定中,由于组织电阻与横截面积成反比,与电极之间距离成正比.因此,电阻的测定应该在电极类型相同、组织大小相同和电极间距相等的情况下进行.为了便于比较测定结果,在应用中常将电阻换算成电阻率( $\Omega \cdot \text{cm}$ ).

在应用方面,由于当植物处于逆境(寒、冻、旱、盐、热、病等等)时,细胞壁会首先受到伤害,造成透性改变、离子泄漏,使组织电阻发生改变,这样,通过组织电阻的变化就可以反映植物的受害程度.因此,植物的电阻性质首先应用于植物抗逆性的研究.此外,近年来的研究发现,植物枝条的电阻与植物的矮化效应

有很强的相关性,因此,在植物嫁接技术中已开始探索利用植物电阻来预测砧木矮化效应的新方法.

#### 2. 植物种子的介电性质

植物种子的介电性质反映了种子在外电场中的极化性质.从物理角度看,植物种子是一个非线性、各向异性的电介质,其介电性质可用复介电常数 $\epsilon_r$ 来表达:

$$\epsilon_r = \epsilon_r' - i\epsilon_r''$$

$$\text{tg} \delta = \epsilon_r'' / \epsilon_r'$$

其中,实部 $\epsilon_r'$ 为习惯意义上的相对介电常数,虚部 $\epsilon_r''$ 为损耗因素, $\delta$ 称损耗角.在电介质物理学中,损耗因素描述了电介质在外电场作用下,由于电介质中的“泄漏”电流引起的能量耗散.这种能量耗散起源于介质分子在电场中发生旋转运动时,因分子间相互摩擦而产生的热量损失.

种子介电常数可以通过电容法来测量,即将种子置于平行板电容器之间,通过测量有种子时的电容 $c_x$ 和无种子时的电容 $c_0$ ,通过 $\epsilon_r' = c_x / c_0$ 可算出 $\epsilon_r'$ ,再利用下式

$$\text{tg} \delta = \frac{1}{2\pi\epsilon_0\epsilon_r'f\rho}$$

可获得介质损耗角 $\delta$ .该式中, $f$ 为外加交流电压的频率, $\rho$ 为种子的电阻率.

实验发现,种子的 $\epsilon_r'$ 与 $\text{tg} \delta$ 随种子含水量的增加而增大.由此确定出 $\epsilon_r'$ 与种子含水量 $W$ 之间满足下述的指数关系:

$$\epsilon_r' - 1 = ae^{bW}$$

其中, $a$ 、 $b$ 为常数.因此,种子的介电性质可应用于种子含水量的测定.此外,实验还发现,种子活力也与 $\epsilon_r'$ 有关,这暗示着,利用种子的介电性质有可能开发出一个种子活力检测的新方法.目前,这两方面的应用尚在研究之中.

### 四、植物的光学性质

#### 1. 植物叶片的吸光性质

植物叶片的吸光性质指叶片对太阳光辐射的吸收性质,其可通过吸收比(吸收的光能与入射光能之比)来表达.一般植物叶片的吸光性质

如图3所示.在图3中,叶片在190—500nm和680nm处的吸收比最大,高达85%以上;吸收比在500—600nm段次之,并形成了一个波谷,谷底在550nm处;在760—860nm段的光吸收比最低,低于4%.

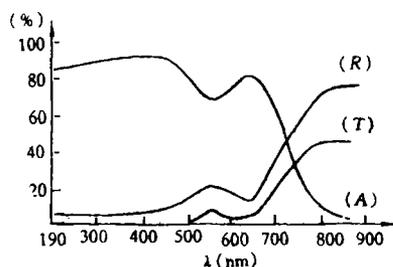


图3 植物叶片对光的反射、透射与吸收  
(A):吸收比曲线;(R),反射比曲线;(T):透射比曲线

植物叶片之所以在很广的波长范围内对光有很强的吸收,是因为在叶片内存在着许多种色素系统,如叶绿素、类胡萝卜素、藻胆素等等,这些色素可以分别吸收不同波长的光.在光合作用中,各色素吸收了不同波长的光子后,将其光能以共振等方式向长波方向传递给光合反应中心,完成光合作用.

根据上述植物叶片的吸光性质,在农业应用上,人们已经开发成功了新型农用新材料“光助素”.这种材料能够选择性地发射出波段较宽的可见光,特别是长波波段的的光,从而有效地增强了作物生产所需的光能.在光照不足的情况下,它能够起到补充光能和延长光照的作用.“光助素”作为一种新型的农业物理新技术已经开始了大面积的推广,获得了较好的经济效益.

## 2. 植物叶片的荧光性质

植物叶片在可见光的激发下,会发出一种微弱的、强度随时间变化的暗红色荧光,这种现象称 Kautsky 效应.现已查明,在室温条件下,叶片发出的这种荧光绝大部分来自于叶绿体中的叶绿素 *a* 分子,荧光发射波长范围在 650—780nm,发射峰在 685nm 和 735nm.

植物叶片发出的叶绿素荧光的显著特征

是其强度随时间发生变化而呈现所谓的荧光动力学曲线.典型的叶绿素荧光动力学曲线如图4所示.

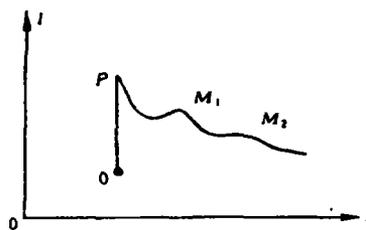


图4 叶绿素荧光动力学曲线示意图

当植物叶片突然受到可见光的照射时,其体内的叶绿素分子在纳秒级的时间范围内迅速地发出一定强度的荧光(0点),此时的荧光强度称固定荧光( $F_0$ ).数秒钟后,荧光强度达到最高点(P点),此时的荧光强度称最大荧光( $F_m$ ), $F_m$ 的值减去 $F_0$ 的值称可变荧光( $F_v$ ).此后,荧光强度会经1—2次的阻尼振荡,在出现较弱的峰值 $M_1$ 与 $M_2$ 后降到接近 $F_0$ 的水平(T).一般说来,植物叶片的这个荧光动力学过程要延续3—5分左右.

在应用研究中发现,抗冷性差的水稻品种在低温下时,其荧光动力学曲线中的 $M_1$ 与 $M_2$ 峰首先消失,P峰与 $F_v$ 也随低温时间的延长迅速减少,因此,叶绿素荧光动力学曲线中的一些参数(如 $M$ 峰、 $P$ 峰的高低, $F_v$ 值的大小等)首先应用于植物抗冷性的研究,此后又迅速推广到抗热、抗旱和抗盐性的研究.

在有关植物除草剂的研究中,人们发现,除草剂之所以能够选择性地杀死某些植物,是由于它能专一地、非共价地结合在这些植物的叶绿素上,从而使光合受抑,导致植物死亡,因此,抗除草剂植物与不抗除草剂植物在喷施除草剂后的荧光动力学曲线有很大差别.基于这个原理,人们又开发了植物抗除草剂鉴定中的叶绿素荧光法.

除此之外,植物叶片的叶绿素荧光性质在果蔬贮藏、环境评价以及预测作物增产潜力和产量等方面也有十分重要的应用.