



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108872317 B

(45)授权公告日 2020.06.09

(21)申请号 201810717266.6

G01N 27/22(2006.01)

(22)申请日 2018.07.03

G01N 27/00(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 108872317 A

(43)申请公布日 2018.11.23

(73)专利权人 中国科学院地球化学研究所  
地址 550081 贵州省贵阳市观山湖区林城西路99号

(56)对比文件

CN 105018413 A, 2015.11.04,  
CN 103592343 A, 2014.02.19,  
CN 103645355 A, 2014.03.19,  
US 4039942 A, 1977.08.02,  
EP 0449166 A2, 1991.10.02,  
吴沿友等. 快速反映植物水分状况的叶片紧张度模型.《农业机械学报》.2015,第46卷(第3期),第310-314页.

(72)发明人 吴沿友 吴沿胜 方蕾 吴明开  
王瑞 苏跃 王世杰 刘从强

John M. Cheeseman 等. Electrical characteristics of cells from leaves of Lycopersicon.《Canadian Journal of Botany》.1977,第55卷(第5期),第497-510页.

(74)专利代理机构 贵阳中新专利商标事务所  
52100

代理人 刘艳

审查员 刘京徽

(51)Int.Cl.

G01N 27/02(2006.01)

G01N 27/04(2006.01)

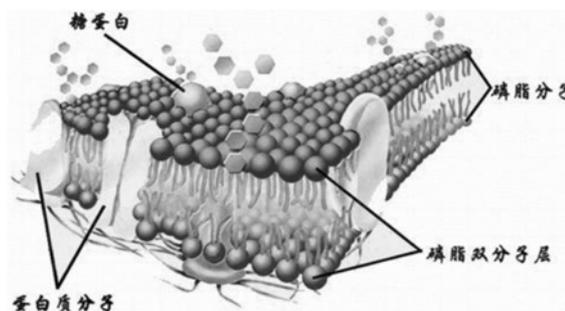
权利要求书3页 说明书19页 附图1页

## (54)发明名称

一种测定植物叶片细胞介电物质转移数的方法

## (57)摘要

本发明公开了一种测定植物叶片细胞介电物质转移数的方法,属于生物物理信息检测技术领域,测定装置使用时极板通过导线与LCR测试仪连接,两电极板将待测量植物叶片夹持住,并联模式同时测定不同夹持力下植物叶片生理电阻、生理阻抗和生理电容,进一步计算植物叶片生理容抗和生理感抗;依据Nernst方程,构建植物叶片的生理电阻随夹持力变化、植物叶片的生理容抗随夹持力变化以及植物叶片的生理感抗随夹持力变化模型,利用上述三个模型的各个参数联合计算不同类型介电物质转移百分数。本发明不仅可以快速、在线定量检测不同环境下不同植物叶片各种不同类型的介电物质转移百分数,而且可以用生物物理指标表征不同环境下不同植物叶片水分和物质在系统中的交流特征。



1. 一种测定植物叶片细胞介电物质转移数的方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一,将测定装置与LCR测试仪连接;

步骤二,选取待测植物的新鲜枝条,并包住枝条基部,带到实验室;

步骤三,从新鲜枝条上采集待测叶片,放到蒸馏水中浸泡30分钟;

步骤四,吸干叶片表面水,立即将待测叶片夹在测定装置平行电极板之间,设置测定电压、频率,通过改变铁块的质量来设置不同的夹持力,并联模式同时测定不同夹持力下的植物叶片生理电容、生理电阻、生理阻抗;

步骤五,根据植物叶片生理电容计算生理容抗;

步骤六,依据植物叶片生理电阻、生理阻抗和生理容抗,计算植物叶片生理感抗;

步骤七,构建植物叶片的生理电阻随夹持力变化模型,获得模型的各个参数;

步骤八,构建植物叶片的生理容抗随夹持力变化模型,获得模型的各个参数;

步骤九,构建植物叶片的生理感抗随夹持力变化模型,获得模型的各个参数;

步骤十,依据步骤七模型中的参数,分别获取k型响应生理电阻的介电物质转移数 $K_{nR}$ 和b型响应生理电阻的介电物质转移数 $B_{nR}$ ;

步骤十一,依据步骤八模型中的参数,分别获取k型响应生理容抗的介电物质转移数 $K_{nXC}$ 和b型响应生理容抗的介电物质转移数 $B_{nXC}$ , $K_{nXC} = \ln k_2 - \ln p_0$ ,b型响应生理容抗的介电物质转移数 $B_{nXC}$ 的方法为: $B_{nXC} = b_2$ ;

步骤十二,依据步骤九模型中的参数,分别获取k型响应生理感抗的介电物质转移数 $K_{nXL}$ 和b型响应生理感抗的介电物质转移数 $B_{nXL}$ , $K_{nXL} = \ln k_3 - \ln q_0$ ,b型响应生理感抗的介电物质转移数 $B_{nXL}$ 的方法为: $B_{nXL} = b_3$ ;

步骤十三,依据k型响应生理电阻的介电物质转移数 $K_{nR}$ 、k型响应生理容抗的介电物质转移数 $K_{nXC}$ 和k型响应生理感抗的介电物质转移数 $K_{nXL}$ 获得k型总介电物质转移数 $K_{nT}$ , $K_{nT} = K_{nR} + K_{nXC} + K_{nXL}$ ;

步骤十四,依据b型响应生理电阻的介电物质转移数 $B_{nR}$ 、b型响应生理容抗的介电物质转移数 $B_{nXC}$ 和b型响应生理感抗的介电物质转移数 $B_{nXL}$ 获得b型总介电物质转移数 $B_{nT}$ , $B_{nT} = B_{nR} + B_{nXC} + B_{nXL}$ ;

步骤十五,依据 $K_{nR}$ 、 $K_{nXC}$ 、 $K_{nXL}$ 以及 $K_{nT}$ ,分别获得k型响应生理电阻的介电物质转移百分数 $KP_{nR}$ 、k型响应生理容抗的介电物质转移百分数 $KP_{nXC}$ 和k型响应生理感抗的介电物质转移百分数 $KP_{nXL}$ , $KP_{nR} = \frac{100 K_{nR}}{K_{nT}}$ ,单位%; $KP_{nXC} = \frac{100 K_{nXC}}{K_{nT}}$ ,单位%; $KP_{nXL} = \frac{100 K_{nXL}}{K_{nT}}$ ,单位%;

步骤十六,依据 $B_{nR}$ 、 $B_{nXC}$ 、 $B_{nXL}$ 和 $B_{nT}$ ,分别获得b型响应生理电阻的介电物质转移百分数 $BP_{nR}$ 、b型响应生理容抗的介电物质转移百分数 $BP_{nXC}$ 和b型响应生理感抗的介电物质转移百分数 $BP_{nXL}$ , $BP_{nR} = \frac{100 B_{nR}}{B_{nT}}$ ,单位%; $BP_{nXC} = \frac{100 B_{nXC}}{B_{nT}}$ ,单位%; $BP_{nXL} = \frac{100 B_{nXL}}{B_{nT}}$ ,单位%;所述

步骤七中,植物叶片的生理电阻随夹持力变化模型, $R = \frac{f_0}{C_T} + \frac{f_0}{C_T} e^{\frac{nR F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{d n R F_0 F}{a R_0 T}}$ ,该模型是基

于能斯特方程 $E - E^0 = \frac{R_0 T}{n R F_0} \ln \frac{C_i}{C_o}$ 推导出的,其中R为电阻,E为电动势, $E^0$ 为标准电动势, $R_0$ 是理想气体常数,T是温度, $C_i$ 为细胞膜内响应生理电阻的介电物质浓度, $C_o$ 为细胞膜外响应生理电阻的介电物质浓度, $f_0$ 是细胞膜内响应生理电阻的介电物质浓度 $C_i$ 与生理电阻之间转化

的比例系数,膜内外响应生理电阻的介电物质总量 $C_T=C_i+C_o$ , $F_0$ 是法拉第常数, $n_R$ 是响应生理电阻的介电物质转移数; $E$ 与 $PV$ 成正比 $PV=a E$ , $a$ 是电动势转换成代谢能的系数, $V$ 为植物细胞体积, $P$ 是植物细胞受到的压强,压强 $P$ 由压强公式 $P=\frac{F}{S}$ 求出, $F$ 为夹持力, $S$ 为极板作用下的有效面积, $d$ 为植物叶片的比有效厚度; $E-E^0=\frac{R_0T}{n_R F_0} \ln \frac{C_i}{C_o}$ 可变形为: $\frac{V}{S} F = a E^0 - \frac{a R_0 T}{n_R F_0} \ln \frac{C_T R - f_0}{f_0}$ ,进而变形

为 $R = \frac{f_0}{C_T} + \frac{f_0}{C_T} e^{\frac{n_R F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\left(\frac{V n_R F_0}{S a R_0 T} F\right)}$ ,由于植物叶片的比有效厚度 $d = \frac{V}{S}$ ,因此, $R = \frac{f_0}{C_T} + \frac{f_0}{C_T} e^{\frac{n_R F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\left(\frac{V n_R F_0}{S a R_0 T} F\right)}$

可变形为: $R = \frac{f_0}{C_T} + \frac{f_0}{C_T} e^{\frac{n_R F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\left(\frac{d n_R F_0}{a R_0 T} F\right)}$ ,令 $y_0 = \frac{f_0}{C_T}$ 、 $k_1 = \frac{f_0}{C_T} e^{\frac{n_R F_0 E^0}{R_0 T}}$ 、 $b_1 = \frac{d n_R F_0}{a R_0 T}$ ,所述植物叶片的生理电阻随夹持力变化模型可变形为 $R = y_0 + k_1 e^{-b_1 F}$ ,其中 $y_0$ 、 $k_1$ 和 $b_1$ 为模型的参数;所述步骤八

中,植物叶片的生理容抗随夹持力变化模型, $X_c = \frac{J_0}{Q} + \frac{J_0}{Q} e^{\frac{n_{XC} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\left(\frac{d n_{XC} F_0}{a R_0 T} F\right)}$ ,该模型是基于能

斯特方程 $E-E^0 = \frac{R_0 T}{n_{XC} F_0} \ln \frac{Q_i}{Q_o}$ 推导出的,其中 $X_c$ 为容抗, $E$ 为电动势, $E^0$ 为标准电动势, $R_0$ 是理想气体常数, $T$ 是温度, $Q_i$ 为细胞膜内响应生理容抗的介电物质浓度, $Q_o$ 为细胞膜外响应生理容抗的介电物质浓度, $J_0$ 是细胞膜内响应生理容抗的介电物质浓度 $Q_i$ 与生理容抗之间转化的比例系数,膜内外响应生理容抗的介电物质总量 $Q = Q_i + Q_o$ , $F_0$ 是法拉第常数, $n_{XC}$ 是响应生理容抗的介电物质转移数; $E$ 与 $PV$ 成正比 $PV=a E$ , $a$ 是电动势转换成代谢能的系数, $V$ 为植物细胞体积, $P$ 是植物细胞受到的压强,压强 $P$ 由压强公式 $P=\frac{F}{S}$ 求出, $F$ 为夹持力, $S$ 为极板作用下的有效面积, $d$ 为植物叶片的比有效厚度; $E-E^0 = \frac{R_0 T}{n_{XC} F_0} \ln \frac{Q_i}{Q_o}$ 可变形为: $\frac{V}{S} F = a E^0 -$

$\frac{a R_0 T}{n_{XC} F_0} \ln \frac{Q X_c - J_0}{J_0}$ ,进而变形为 $X_c = \frac{J_0}{Q} + \frac{J_0}{Q} e^{\frac{n_{XC} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\left(\frac{V n_{XC} F_0}{S a R_0 T} F\right)}$ ,由于植物叶片的比有效厚度 $d = \frac{V}{S}$ ,因

此, $X_c = \frac{J_0}{Q} + \frac{J_0}{Q} e^{\frac{n_{XC} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\left(\frac{V n_{XC} F_0}{S a R_0 T} F\right)}$ 可变形为: $X_c = \frac{J_0}{Q} + \frac{J_0}{Q} e^{\frac{n_{XC} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\left(\frac{d n_{XC} F_0}{a R_0 T} F\right)}$ ,令 $p_0 = \frac{J_0}{Q}$ 、 $k_2 = \frac{J_0}{Q} e^{\frac{n_{XC} F_0 E^0}{R_0 T}}$ 、

$b_2 = \frac{d n_{XC} F_0}{a R_0 T}$ ,所述植物叶片的生理容抗随夹持力变化模型可变形为 $X_c = p_0 + k_2 e^{-b_2 F}$ ,其中 $p_0$ 、 $k_2$

和 $b_2$ 为模型的参数;所述步骤九中,植物叶片的生理感抗随夹持力变化模型, $X_l = \frac{L_0}{M_T} +$

$\frac{L_0}{M_T} e^{\frac{n_{XL} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\left(\frac{d n_{XL} F_0}{a R_0 T} F\right)}$ ,该模型是基于能斯特方程 $E-E^0 = \frac{R_0 T}{n_{XL} F_0} \ln \frac{M_i}{M_o}$ 推导出的,其中 $X_l$ 为感抗, $E$

为电动势, $E^0$ 为标准电动势, $R_0$ 是理想气体常数, $T$ 是温度, $M_i$ 为细胞膜内响应生理感抗的介电物质浓度, $M_o$ 为细胞膜外响应生理感抗的介电物质浓度, $L_0$ 是细胞膜内响应生理感抗的介电物质浓度 $M_i$ 与生理感抗之间转化的比例系数,膜内外响应生理感抗的介电物质总量 $M_T = M_i + M_o$ , $F_0$ 是法拉第常数, $n_{XL}$ 是响应生理感抗的介电物质转移数; $E$ 与 $PV$ 成正比 $PV=a E$ , $a$ 是电动势转换成代谢能的系数, $V$ 为植物细胞体积, $P$ 是植物细胞受到的压强,压强 $P$ 由压强公式 $P=\frac{F}{S}$ 求出, $F$ 为夹持力, $S$ 为极板作用下的有效面积, $d$ 为植物叶片的比有效厚度;

$E-E^0 = \frac{R_0 T}{n_{XL} F_0} \ln \frac{M_i}{M_o}$ 可变形为: $\frac{V}{S} F = a E^0 - \frac{a R_0 T}{n_{XL} F_0} \ln \frac{M_T X_l - L_0}{L_0}$ ,进而变形为 $X_l = \frac{L_0}{M_T} + \frac{L_0}{M_T} e^{\frac{n_{XL} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\left(\frac{V n_{XL} F_0}{S a R_0 T} F\right)}$ ,

由于植物叶片的比有效厚度  $d = \frac{V}{S}$ , 因此,  $Xl = \frac{L_0}{M_T} + \frac{L_0}{M_T} e^{\frac{n_{XL} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{(-\frac{V n_{XL} F_0}{S a R_0 T} F)}$  可变形为:

$Xl = \frac{L_0}{M_T} + \frac{L_0}{M_T} e^{\frac{n_{XL} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{(-\frac{d n_{XL} F_0}{a R_0 T} F)}$ , 令  $q_0 = \frac{L_0}{M_T}$ ,  $k_3 = \frac{L_0}{M_T} e^{\frac{n_{XL} F_0 E^0}{R_0 T}}$ ,  $b_3 = \frac{d n_{XL} F_0}{a R_0 T}$ , 所述植物叶片的生理感抗随

夹持力变化模型可变形为  $Xl = q_0 + k_3 e^{-b_3 F}$ , 其中  $q_0$ 、 $k_3$  和  $b_3$  为模型的参数。

2. 根据权利要求1所述的一种测定植物叶片细胞介电物质转移数的方法, 其特征在于: 所述测定装置包括支架(1)、泡沫板(2)、电极板(3)、导线(4)、铁块(5)、塑料棒(6)及固定夹(7), 支架(1)为矩形框架结构、且一侧开放, 支架(1)上端开有通孔, 供塑料棒(6)伸入, 支架(1)下端朝内一侧及塑料棒(6)底端分别粘有两个泡沫板(2), 泡沫板(2)内镶嵌电极板(3), 两个电极板(3)各自引出一根导线(4), 塑料棒(6)的泡沫板(2)上可放置固定质量的铁块(5), 塑料棒(6)位于支架内部的一端由固定夹(7)进行固定。

3. 根据权利要求2所述的一种测定植物叶片细胞介电物质转移数的方法, 其特征在于: 所述电极板(3)为圆形极板, 所述电极板(3)的材质为铜。

4. 根据权利要求2所述的一种测定植物叶片细胞介电物质转移数的方法, 其特征在于: 所述步骤四中不同的夹持力的设置方法为: 通过增加不同质量的铁块, 依据重力学公式:  $F = (M+m)g$  计算出夹持力  $F$ , 式中  $F$  为夹持力, 单位  $N$ ;  $M$  为铁块质量,  $m$  为塑料棒与电极片的质量,  $kg$ ;  $g$  是重力加速度为  $9.8N/kg$ 。

5. 根据权利要求1所述的一种测定植物叶片细胞介电物质转移数的方法, 其特征在于: 所述步骤五中, 植物叶片生理容抗的计算公式:  $Xc = \frac{1}{2\pi f C}$ , 其中  $Xc$  为植物叶片生理容抗,  $C$  为植物叶片生理电容,  $f$  为测试频率,  $\pi$  是圆周率等于  $3.1416$ 。

6. 根据权利要求1所述的一种测定植物叶片细胞介电物质转移数的方法, 其特征在于: 所述步骤六中, 植物叶片生理感抗的计算公式:  $\frac{1}{-Xl} = \frac{1}{Z} - \frac{1}{R} - \frac{1}{Xc}$ , 其中  $Xl$  为植物叶片生理感抗,  $Xc$  为植物叶片生理容抗,  $Z$  为植物叶片生理阻抗,  $R$  为植物叶片生理电阻。

7. 根据权利要求1所述的一种测定植物叶片细胞介电物质转移数的方法, 其特征在于: 所述步骤十中, 依据步骤七模型中的参数获取  $k$  型响应生理电阻的介电物质转移数  $K_{NR}$  的方法为:  $K_{NR} = \ln k_1 - \ln y_0$ ,  $b$  型响应生理电阻的介电物质转移数  $B_{NR}$  的方法为:  $B_{NR} = b_1$ 。

## 一种测定植物叶片细胞介电物质转移数的方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于生物物理信息检测技术领域,具体涉及一种测定植物叶片细胞介电物质转移数的方法,可以快速、检测植物叶片水分和物质在系统中的交流特征,为植物叶片细胞膜的物质运输特性的阐述提供数据支撑。

### 背景技术

[0002] 细胞膜主要由脂质(主要为磷脂)(约占细胞膜总量的50%)、蛋白质(约占细胞膜总量的40%)和糖类(约占细胞膜总量的2%~10%)等物质组成;其中以蛋白质和脂质为主。磷脂双分子层是构成细胞膜的基本支架。在电镜下可分为三层,即在膜的靠内外两侧各有一条厚约2.5nm的电子致密带(亲水部分),中间夹有一条厚2.5nm的透明带(疏水部分)。

[0003] 如图1所示,细胞膜对穿过它的电流所呈现的电阻称为膜电阻。由于细胞膜主要是由蛋白质和脂质构成,因此电阻率较大,因而细胞膜成为提供了生物组织电阻的主要部分。

[0004] 磷脂双分子层是构成细胞膜的基本支架。膜的靠内外两侧为亲水部分,中间为疏水部分。膜蛋白质主要以两种形式同膜脂质相结合:分内在蛋白和外在蛋白两种。内在蛋白以疏水的部分直接与磷脂的疏水部分共价结合,两端带有极性,贯穿膜的内外;外在蛋白以非共价键结合在固有蛋白的外端上,或结合在磷脂分子的亲水头上。如载体、特异受体、酶、表面抗原。占20%~30%的表面蛋白质(外周蛋白质)以带电的氨基酸或基团——极性基团与膜两侧的脂质结合;占70%~80%的结合蛋白质(内在蛋白质)通过一个或几个疏水的 $\alpha$ -螺旋(20~30个疏水氨基酸吸收而形成,每圈3.6个氨基酸残基,相当于膜厚度。相邻的 $\alpha$ -螺旋以膜内、外两侧直链肽连接)即膜内疏水羟基与脂质分子结合。这样的细胞膜结构导致其具有电容性和电感性。其中表面蛋白质(外周蛋白质)的种类和数量决定其电容的大小,结合蛋白质(内在蛋白质)尤其是其中的转运蛋白的种类和数量决定其电感的大小。

[0005] 细胞膜上存在两类主要的转运蛋白,即:载体蛋白(carrier protein)和通道蛋白(channel protein)。载体蛋白又称做载体(carrier)、通透酶(permease)和转运器(transporter),能够与特定溶质结合,通过自身构象的变化,将与它结合的溶质转移到膜的另一侧,载体蛋白有的需要能量驱动,如:各类APT驱动的离子泵;有的则不需要能量,以自由扩散的方式运输物质,如:缬氨酶素。通道蛋白与所转运物质的结合较弱,它能形成亲水的通道,当通道打开时能允许特定的溶质通过,所有通道蛋白均以自由扩散的方式运输溶质。

[0006] 细胞膜是防止细胞外物质自由进入细胞的屏障,它保证了细胞内环境的相对稳定,使各种生化反应能够有序运行。但是细胞必须与周围环境发生信息、物质与能量的交换,才能完成特定的生理功能,因此细胞必须具备一定的物质转运体系,用来获得所需物质和排出代谢废物。据估计细胞膜上与物质转运有关的蛋白占核基因编码蛋白的15~30%,细胞用在物质转运方面的能量达细胞总消耗能量的三分之二。由此,也可以看出,细胞的物质转运能力是由细胞膜中表面蛋白质和结合蛋白质的种类和数量决定的。

[0007] 植物叶片细胞的运输能力与植物的水分代谢、光合产物的运输以及硝酸盐还原等

众多生理活动有关。为了确定细胞膜上磷脂、表面蛋白质(外周蛋白质)和结合蛋白质(内在蛋白质)对细胞膜物质运转的贡献份额,本发明以植物叶片为考察器官,依据能斯特方程,联合推导出植物叶片的生理电阻随夹持力变化、植物叶片的生理容抗随夹持力变化以及植物叶片的生理感抗随夹持力变化模型,利用上述三个模型的各个参数联合计算不同类型介电物质转移百分数。本发明不仅可以快速、在线定量检测不同环境下不同植物叶片各种不同类型的介电物质转移百分数,测定的结果具有可比性,而且还可以用生物物理指标表征不同环境下不同植物叶片水分和物质在系统中的交流特征,确定细胞膜上磷脂、表面蛋白质和结合蛋白质对细胞膜物质运转的贡献份额,为阐明复杂的生物学规律和植物器官的源库关系提供科学数据。

## 发明内容

[0008] 本发明的目的在于提供一种测定植物叶片细胞介电物质转移数的方法,填补了用生物物理指标来表征叶片细胞不同物质的运输能力的空白,为定量植物叶片细胞膜的组成结构及功能提供一个模式。

[0009] 为了解决以上技术问题,本发明采用的具体技术方案如下:

[0010] 一种测定植物叶片细胞介电物质转移数的方法,包括以下步骤:

[0011] 步骤一,将测定装置与LCR测试仪连接;

[0012] 步骤二,选取待测植物的新鲜枝条,并包住枝条基部,带到实验室;

[0013] 步骤三,从新鲜枝条上采集待测叶片,放到蒸馏水中浸泡30分钟;

[0014] 步骤四,吸干叶片表面水,立即将待测叶片夹在测定装置平行电极板之间,设置测定电压、频率,通过改变铁块的质量来设置不同的夹持力,并联模式同时测定不同夹持力下的植物叶片生理电容、生理电阻、生理阻抗;

[0015] 步骤五,根据植物叶片生理电容计算生理容抗;

[0016] 步骤六,依据植物叶片生理电阻、生理阻抗和生理容抗,计算植物叶片生理感抗;

[0017] 步骤七,构建植物叶片的生理电阻随夹持力变化模型,获得模型的各个参数;

[0018] 步骤八,构建植物叶片的生理容抗随夹持力变化模型,获得模型的各个参数;

[0019] 步骤九,构建植物叶片的生理感抗随夹持力变化模型,获得模型的各个参数;

[0020] 步骤十,依据步骤七模型中的参数,分别获取k型响应生理电阻的介电物质转移数 $K_{NR}$ 和b型响应生理电阻的介电物质转移数 $B_{NR}$ ;

[0021] 步骤十一,依据步骤八模型中的参数,分别获取k型响应生理容抗的介电物质转移数 $K_{XC}$ 和b型响应生理容抗的介电物质转移数 $B_{XC}$ ;

[0022] 步骤十二,依据步骤九模型中的参数,分别获取k型响应生理感抗的介电物质转移数 $K_{XL}$ 和b型响应生理感抗的介电物质转移数 $B_{XL}$ ;

[0023] 步骤十三,依据k型响应生理电阻的介电物质转移数 $K_{NR}$ 、k型响应生理容抗的介电物质转移数 $K_{XC}$ 和k型响应生理感抗的介电物质转移数 $K_{XL}$ 获得k型总介电物质转移数 $K_{NT}$ ;

[0024] 步骤十四,依据b型响应生理电阻的介电物质转移数 $B_{NR}$ 、b型响应生理容抗的介电物质转移数 $B_{XC}$ 和b型响应生理感抗的介电物质转移数 $B_{XL}$ 获得b型总介电物质转移数 $B_{NT}$ ;

[0025] 步骤十五,依据 $K_{NR}$ 、 $K_{XC}$ 、 $K_{XL}$ 以及 $K_{NT}$ ,分别获得k型响应生理电阻的介电物质转移百分数 $KP_{NR}$ 、k型响应生理容抗的介电物质转移百分数 $KP_{XC}$ 和k型响应生理感抗的介电物质

转移百分数 $K_{PnXL}$ ;

[0026] 步骤十六,依据 $B_{nR}$ 、 $B_{nXC}$ 、 $B_{nXL}$ 和 $B_{nT}$ ,分别获得b型响应生理电阻的介电物质转移百分数 $BP_{nR}$ 、b型响应生理容抗的介电物质转移百分数 $BP_{nXC}$ 和b型响应生理感抗的介电物质转移百分数 $BP_{nXL}$ 。

[0027] 进一步,所述步骤一中的测定装置包括支架(1)、泡沫板(2)、电极板(3)、导线(4)、铁块(5)、塑料棒(6)及固定夹(7),支架(1)为矩形框架结构、且一侧开放,支架(1)上端开有通孔,供塑料棒(6)伸入,支架(1)下端朝内一侧及塑料棒(6)底端分别粘有两个泡沫板(2),泡沫板(2)内镶嵌电极板(3),两个电极板(3)各自引出一根导线(4),塑料棒(6)的泡沫板(2)上可放置固定质量的铁块(5),塑料棒(6)位于支架内部的一端由固定夹(7)进行固定;所述电极板(3)为圆形极板,所述电极板(3)的材质为铜。

[0028] 进一步,所述步骤四中不同的夹持力的设置方法为:通过增加不同质量的铁块,依据重力学公式: $F = (M+m)g$ 计算出夹持力 $F$ ,式中 $F$ 为夹持力,单位 $N$ ;  $M$ 为铁块质量,  $m$ 为塑料棒与电极片的质量,  $kg$ ;  $g$ 是重力加速度为 $9.8N/kg$ 。

[0029] 进一步,所述步骤五中,植物叶片生理容抗的计算公式: $X_c = \frac{1}{2\pi fC}$ ,其中 $X_c$ 为植物叶片生理容抗,  $C$ 为植物叶片生理电容,  $f$ 为测试频率,  $\pi$ 是圆周率等于 $3.1416$ 。

[0030] 进一步,植物叶片生理感抗的计算公式: $\frac{1}{-X_l} = \frac{1}{Z} - \frac{1}{R} - \frac{1}{X_c}$ ,其中 $X_l$ 为植物叶片生理感抗,  $X_c$ 为植物叶片生理容抗,  $Z$ 为植物叶片生理阻抗,  $R$ 为植物叶片生理电阻。

[0031] 进一步,所述步骤七中,植物叶片的生理电阻随夹持力变化模型,  $R = \frac{f_0}{C_T} + \frac{f_0}{C_T} e^{\frac{n_R F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{d n_R F_0 F}{a R_0 T}}$ ,该模型是基于能斯特方程 $E - E^0 = \frac{R_0 T}{n_R F_0} \ln \frac{C_i}{C_o}$ 推导出的,其中 $R$ 为生理电阻,

$E$ 为电动势,  $E^0$ 为标准电动势,  $R_0$ 是理想气体常数,  $T$ 是温度,  $C_i$ 为细胞膜内响应生理电阻的介电物质浓度,  $C_o$ 为细胞膜外响应生理电阻的介电物质浓度,  $f_0$ 是细胞膜内响应生理电阻的介电物质浓度 $C_i$ 与生理电阻之间转化的比例系数,膜内外响应生理电阻的介电物质总量 $C_T = C_i + C_o$ ,  $F_0$ 是法拉第常数,  $n_R$ 是响应生理电阻的介电物质转移数;  $E$ 可用来做功,与 $PV$ 成正比 $PV = aE$ ,  $a$ 是电动势转换成代谢能的系数,  $V$ 为植物细胞体积,  $P$ 是植物细胞受到的压强,压强 $P$ 由压强公式 $P = \frac{F}{S}$ 求出,  $F$ 为夹持力,  $S$ 为极板作用下的有效面积,  $d$ 为植物叶片的比有效厚度;

$E - E^0 = \frac{R_0 T}{n_R F_0} \ln \frac{C_i}{C_o}$ 可变形为: $\frac{V}{S} F = a E^0 - \frac{a R_0 T}{n_R F_0} \ln \frac{C_T R - f_0}{f_0}$ ,进而变形为 $R = \frac{f_0}{C_T} + \frac{f_0}{C_T} e^{\frac{n_R F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{V n_R F_0 F}{S a R_0 T}}$ ,由于植物叶片的比有效厚度 $d = \frac{V}{S}$ ,因此,  $R = \frac{f_0}{C_T} + \frac{f_0}{C_T} e^{\frac{n_R F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{V n_R F_0 F}{S a R_0 T}}$ 可变形为: $R = \frac{f_0}{C_T} + \frac{f_0}{C_T} e^{\frac{n_R F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{d n_R F_0 F}{a R_0 T}}$ ,

令 $y_0 = \frac{f_0}{C_T}$ 、 $k_1 = \frac{f_0}{C_T} e^{\frac{n_R F_0 E^0}{R_0 T}}$ 、 $b_1 = \frac{d n_R F_0}{a R_0 T}$ ,所述植物叶片的生理电阻随夹持力变化模型可变形为

$R = y_0 + k_1 e^{-b_1 F}$ ,其中 $y_0$ 、 $k_1$ 和 $b_1$ 为模型的参数。

[0032] 进一步,所述步骤八中,植物叶片的生理容抗随夹持力变化模型,  $X_c = \frac{I_0}{Q} + \frac{I_0}{Q} e^{\frac{n_{XC} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{d n_{XC} F_0 F}{a R_0 T}}$ ,该模型是基于能斯特方程 $E - E^0 = \frac{R_0 T}{n_{XC} F_0} \ln \frac{Q_i}{Q_o}$ 推导出的,其中 $X_c$ 为生理容

抗,  $E$  为电动势,  $E^0$  为标准电动势,  $R_0$  是理想气体常数,  $T$  是温度,  $Q_i$  为细胞膜内响应生理容抗的介电物质浓度,  $Q_o$  为细胞膜外响应生理容抗的介电物质浓度,  $J_0$  是细胞膜内响应生理容抗的介电物质浓度  $Q_i$  与生理容抗之间转化的比例系数, 膜内外响应生理容抗的介电物质总量  $Q = Q_i + Q_o$ ,  $F_0$  是法拉第常数,  $n_{xc}$  是响应生理容抗的介电物质转移数;  $E$  可用来做功, 与  $PV$  成正比  $PV = aE$ ,  $a$  是电动势转换成代谢能的系数,  $V$  为植物细胞体积,  $P$  是植物细胞受到的压强, 压强  $P$  由压强公式  $P = \frac{F}{S}$  求出,  $F$  为夹持力,  $S$  为极板作用下的有效面积,  $d$  为植物叶片的比有效厚度;

$$E - E^0 = \frac{R_0 T}{n_{xc} F_0} \ln \frac{Q_i}{Q_o} \text{ 可变形为: } \frac{V}{S} F = a E^0 - \frac{a R_0 T}{n_{xc} F_0} \ln \frac{Q_{xc} - J_0}{J_0}, \text{ 进而变形为 } Xc = \frac{J_0}{Q} + \frac{J_0}{Q} e^{\frac{n_{xc} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\left(\frac{V n_{xc} F_0 F}{S a R_0 T}\right)},$$

由于植物叶片的比有效厚度  $d = \frac{V}{S}$ , 因此,  $Xc = \frac{J_0}{Q} + \frac{J_0}{Q} e^{\frac{n_{xc} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\left(\frac{V n_{xc} F_0 F}{S a R_0 T}\right)}$  可变形为:

$$Xc = \frac{J_0}{Q} + \frac{J_0}{Q} e^{\frac{n_{xc} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\left(\frac{d n_{xc} F_0 F}{a R_0 T}\right)}, \text{ 令 } p_0 = \frac{J_0}{Q}, k_2 = \frac{J_0}{Q} e^{\frac{n_{xc} F_0 E^0}{R_0 T}}, b_2 = \frac{d n_{xc} F_0}{a R_0 T}, \text{ 所述植物叶片的生理容抗随夹持力变化模型可变形为 } Xc = p_0 + k_2 e^{-b_2 F}, \text{ 其中 } p_0, k_2 \text{ 和 } b_2 \text{ 为模型的参数。}$$

[0033] 进一步, 所述步骤九中, 植物叶片的生理感抗随夹持力变化模型,  $Xl = \frac{L_0}{M_T} +$

$$\frac{L_0}{M_T} e^{\frac{n_{xl} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\left(\frac{d n_{xl} F_0 F}{a R_0 T}\right)}, \text{ 该模型是基于能斯特方程 } E - E^0 = \frac{R_0 T}{n_{xl} F_0} \ln \frac{M_i}{M_o} \text{ 推导出的, 其中 } Xl \text{ 为生理感}$$

抗,  $E$  为电动势,  $E^0$  为标准电动势,  $R_0$  是理想气体常数,  $T$  是温度,  $M_i$  为细胞膜内响应生理感抗的介电物质浓度,  $M_o$  为细胞膜外响应生理感抗的介电物质浓度,  $L_0$  是细胞膜内响应生理感抗的介电物质浓度  $M_i$  与生理感抗之间转化的比例系数, 膜内外响应生理感抗的介电物质总量  $M_T = M_i + M_o$ ,  $F_0$  是法拉第常数,  $n_{xl}$  是响应生理感抗的介电物质转移数;  $E$  可用来做功, 与  $PV$  成正比  $PV = aE$ ,  $a$  是电动势转换成代谢能的系数,  $V$  为植物细胞体积,  $P$  是植物细胞受到的压强, 压强  $P$  由压强公式  $P = \frac{F}{S}$  求出,  $F$  为夹持力,  $S$  为极板作用下的有效面积,  $d$  为植物叶片的比有效厚度;

$$E - E^0 = \frac{R_0 T}{n_{xl} F_0} \ln \frac{M_i}{M_o} \text{ 可变形为: } \frac{V}{S} F = a E^0 - \frac{a R_0 T}{n_{xl} F_0} \ln \frac{M_T Xl - L_0}{L_0}, \text{ 进而变形为 } Xl = \frac{L_0}{M_T} + \frac{L_0}{M_T} e^{\frac{n_{xl} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\left(\frac{V n_{xl} F_0 F}{S a R_0 T}\right)},$$

由于植物叶片的比有效厚度  $d = \frac{V}{S}$ , 因此,  $Xl = \frac{L_0}{M_T} + \frac{L_0}{M_T} e^{\frac{n_{xl} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\left(\frac{V n_{xl} F_0 F}{S a R_0 T}\right)}$  可变形为:

$$Xl = \frac{L_0}{M_T} + \frac{L_0}{M_T} e^{\frac{n_{xl} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\left(\frac{d n_{xl} F_0 F}{a R_0 T}\right)}, \text{ 令 } q_0 = \frac{L_0}{M_T}, k_3 = \frac{L_0}{M_T} e^{\frac{n_{xl} F_0 E^0}{R_0 T}}, b_3 = \frac{d n_{xl} F_0}{a R_0 T}, \text{ 所述植物叶片的生理感抗随}$$

夹持力变化模型可变形为  $Xl = q_0 + k_3 e^{-b_3 F}$ , 其中  $q_0, k_3$  和  $b_3$  为模型的参数。

[0034] 进一步, 所述步骤十中, 依据步骤七模型中的参数获取  $k$  型响应生理电阻的介电物质转移数  $K_{NR}$  的方法为:  $K_{NR} = \ln k_1 - \ln y_0$ ,  $b$  型响应生理电阻的介电物质转移数  $B_{NR}$  的方法为:  $B_{NR} = b_1$ 。

[0035] 进一步, 所述步骤十一中, 依据步骤八模型中的参数获取  $k$  型响应生理容抗的介电物质转移数  $K_{NXC}$  的方法为:  $K_{NXC} = \ln k_2 - \ln p_0$ ,  $b$  型响应生理容抗的介电物质转移数  $B_{NXC}$  的方法为:  $B_{NXC} = b_2$ 。

[0036] 进一步, 所述步骤十二中, 依据步骤九模型中的参数获取  $k$  型响应生理感抗的介电物质转移数  $K_{NXL}$  的方法为:  $K_{NXL} = \ln k_3 - \ln q_0$ ,  $b$  型响应生理感抗的介电物质转移数  $B_{NXL}$  的方法为:  $B_{NXL} = b_3$ 。

[0037] 进一步,所述步骤十三中的k型总介电物质转移数 $K_{nT}$ 的获取方法为: $K_{nT}=K_{nR}+K_{nXC}+K_{nXL}$ 。

[0038] 进一步,所述步骤十四中的b型总介电物质转移数 $B_{nT}$ 的获取方法为: $B_{nT}=B_{nR}+B_{nXC}+B_{nXL}$ 。

[0039] 进一步,所述步骤十五中的k型响应生理电阻的介电物质转移百分数 $KP_{nR}$ 的计算方法为: $KP_{nR}=\frac{100 K_{nR}}{K_{nT}}$ ,单位%;k型响应生理容抗的介电物质转移百分数 $KP_{nXC}$ 的计算方法为: $KP_{nXC}=\frac{100 K_{nXC}}{K_{nT}}$ ,单位%;k型响应生理感抗的介电物质转移百分数 $KP_{nXL}$ 的计算方法为: $KP_{nXL}=\frac{100 K_{nXL}}{K_{nT}}$ ,单位%。

[0040] 进一步,所述步骤十六中的b型响应生理电阻的介电物质转移百分数 $BP_{nR}$ 的计算方法为: $BP_{nR}=\frac{100 B_{nR}}{B_{nT}}$ ,单位%;b型响应生理容抗的介电物质转移百分数 $BP_{nXC}$ 的计算方法为: $BP_{nXC}=\frac{100 B_{nXC}}{B_{nT}}$ ,单位%;b型响应生理感抗的介电物质转移百分数 $BP_{nXL}$ 的计算方法为: $BP_{nXL}=\frac{100 B_{nXL}}{B_{nT}}$ ,单位%。

[0041] 本发明具有有益效果:

[0042] 1.本发明可以快速、在线定量检测不同环境下不同植物叶片各种不同类型的介电物质转移百分数,确定细胞膜上磷脂、表面蛋白质(外周蛋白质)和结合蛋白质(内在蛋白质)对细胞膜物质运转的贡献份额,测定的结果具有可比性。

[0043] 2.本发明通过测定植物叶片细胞介电物质的转移情况,表征叶片细胞水分和物质运输能力,以及不同环境下不同植物叶片水分和物质在系统中的交流特征。

[0044] 3.本发明简便,适用性广,需要的仪器价格低廉。

## 附图说明

[0045] 图1为细胞膜的结构模型

[0046] 图2为本发明的结构示意图;

[0047] 图中:1.支架;2.泡沫板;3.电极板;4.电导线;5.铁块;6.塑料棒;7.固定夹。

## 具体实施方式

[0048] 下面结合附图与实施例对本发明作进一步说明。

[0049] 本发明的基本原理为:

[0050] 由重力学公式:

$$[0051] F=(M+m)g \quad (1)$$

[0052] 式中F为重力(夹持力),N;M为铁块质量,m为塑料棒与电极片的质量,kg;g是重力加速度为9.8,N/kg。

[0053] 以叶片中细胞液溶质作为电介质,将叶片夹在平行板电容器的两平行板电容器极板之间,构成平行板电容传感器。通过增加一定质量的铁块得到不同夹持力下植物叶片的

生理电容,而不同的压力必定会导致叶片中细胞液溶质浓度的不同变化,从而改变叶片细胞的弹性及可塑性,引起两电容器极板间叶片组织细胞液溶质介电常数的变化,从而影响植物生理电容、电阻和阻抗等电生理指标。

[0054] 植物叶片生理容抗的计算公式:  $X_c = \frac{1}{2\pi f C}$ ,其中 $X_c$ 为植物叶片生理容抗, $C$ 为植物叶片生理电容, $f$ 为测试频率, $\pi$ 是圆周率等于3.1416。

[0055] 由于采用并联模式测定植物叶片的生理电阻、生理阻抗和生理电容;因此,植物叶片生理感抗的计算公式:  $\frac{1}{-X_l} = \frac{1}{Z} - \frac{1}{R} - \frac{1}{X_c}$ ,其中 $X_l$ 为植物叶片生理感抗, $X_c$ 为植物叶片生理容抗, $Z$ 为植物叶片生理阻抗, $R$ 为植物叶片生理电阻。

[0056] 由于电阻性电流是由介电物质引起的,所以它是由膜对各种介电物质通透性的大小和介电物质是否大量存在等因素决定的。外界激励改变介电物质的通透性,影响了内外介电物质的浓度,而内外介电物质浓度差服从Nernst方程,而生理电阻与电导率成反比,而电导率与细胞内介电物质浓度成正比,由此可推导出,细胞的生理电阻与外界激励的关系。

[0057] 植物细胞水分的多少关系着植物叶片细胞弹性的强弱,在不同夹持力下,不同植物细胞膜的通透性发生不同的改变,因此其生理电阻是不同的。

[0058] 能斯特方程的表达式如(1)式:

$$[0059] \quad E - E^0 = \frac{R_0 T}{n_R F_0} \ln \frac{C_i}{C_o} \quad (1)$$

[0060] 其中, $E$ 为电动势; $E^0$ 为标准电动势; $R_0$ 是理想气体常数,等于 $8.314570 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ , $T$ 是温度,单位 $\text{K}$ ; $C_i$ 为细胞膜内响应生理电阻的介电物质浓度, $C_o$ 为细胞膜外响应生理电阻的介电物质浓度,膜内外响应生理电阻的介电物质总量 $C_T = C_i + C_o$ , $F_0$ 是法拉第常数,等于 $96485 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ ; $n_R$ 是响应生理电阻的介电物质转移数,单位 $\text{mol}$ 。

[0061] 电动势 $E$ 的内能可转化成压力做功,与 $PV$ 成正比 $PV = aE$ ,即:

$$[0062] \quad PV = aE = a E^0 + \frac{a R_0 T}{n_R F_0} \ln \frac{C_i}{C_o} \quad (2)$$

[0063] 其中: $P$ 为植物细胞受到的压强, $a$ 是电动势转换能量系数, $V$ 为植物细胞体积;

[0064] 植物细胞受到的压强 $P$ 可由压强公式求出,压强公式:  $P = \frac{F}{S}$ ,其中 $F$ 为夹持力, $S$ 为极板作用下的有效面积;

[0065] 在叶肉细胞里,液泡和细胞质占据了细胞内绝大部分空间。对叶肉细胞而言, $C_o$ 与 $C_i$ 之和是一定的,等于膜内外响应生理电阻的介电物质总量 $C_T$ , $C_i$ 则与电导率成正比,而电

导率为电阻 $R$ 的倒数,因此,  $\frac{C_i}{C_o}$ 可表达成  $\frac{C_i}{C_o} = \frac{\frac{f_0}{R}}{C_T - \frac{f_0}{R}} = \frac{f_0}{C_T R - f_0}$ ,其中 $R$ 为电阻, $f_0$ 是细胞膜内响应

生理电阻的介电物质浓度 $C_i$ 与电阻之间转化的比例系数,因此,(2)可变成:

$$[0066] \quad \frac{V}{S} F = a E^0 - \frac{a R_0 T}{n_R F_0} \ln \frac{C_T R - f_0}{f_0} \quad (3)$$

[0067] (3)式变形,得

$$[0068] \quad \frac{a R_0 T}{n_R F_0} \ln \frac{C_T R - f_0}{f_0} = a E^0 - \frac{V}{S} F \quad (4)$$

[0069] (4) 式变形,得

$$[0070] \quad \ln \frac{C_T R - f_0}{f_0} = \frac{n_R F_0 E^0}{R_0 T} - \frac{V n_R F_0}{S a R_0 T} F \quad (5)$$

[0071] (5) 式两边取指数,可变成:

$$[0072] \quad \frac{C_T R - f_0}{f_0} = e^{\frac{n_R F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{V n_R F_0}{S a R_0 T} F} \quad (6)$$

[0073] 进一步变形,可得:

$$[0074] \quad R = \frac{f_0}{C_T} + \frac{f_0}{C_T} e^{\frac{n_R F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{V n_R F_0}{S a R_0 T} F} \quad (7)$$

[0075] 式(7)中R为生理电阻,由于植物叶片的比有效厚度  $d = \frac{V}{S}$ , (7) 式可变形为:

$$[0076] \quad R = \frac{f_0}{C_T} + \frac{f_0}{C_T} e^{\frac{n_R F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{d n_R F_0}{a R_0 T} F} \quad (8)$$

[0077] 对于同一个待测叶片在同一环境下,式(7)中d、a、 $E^0$ 、 $R_0$ 、T、 $n_R$ 、 $F_0$ 、 $C_T$ 、 $f_0$ 都为定值;

令  $y_0 = \frac{f_0}{C_T}$ 、 $k_1 = \frac{f_0}{C_T} e^{\frac{n_R F_0 E^0}{R_0 T}}$ 、 $b_1 = \frac{d n_R F_0}{a R_0 T}$ , 因此(8)式可变形为:

$$[0078] \quad R = y_0 + k_1 e^{-b_1 F} \quad (9)$$

[0079] (9) 式中  $y_0$ 、 $k_1$  和  $b_1$  为模型的参数。 $\frac{n_R F_0 E^0}{R_0 T} = \ln k_1 - \ln y_0$ , 在此,  $\frac{n_R F_0 E^0}{R_0 T}$  中的  $E^0$ 、 $R_0$ 、T 与  $F_0$  是定值,  $\frac{n_R F_0 E^0}{R_0 T}$  只与响应生理电阻的介电物质转移数  $n_R$  成正比, 同样,  $b_1 = \frac{d n_R F_0}{a R_0 T}$ , 在此,  $\frac{d n_R F_0}{a R_0 T}$  中的 d、a、 $R_0$ 、T 与  $F_0$  是定值,  $\frac{d n_R F_0}{a R_0 T}$  同样只与响应生理电阻的介电物质转移数  $n_R$  成正比, 因此, k 型响应生理电阻的介电物质转移数  $K_{nR} = \ln k_1 - \ln y_0$ , b 型响应生理电阻的介电物质转移数  $B_{nR} = b_1$ 。

[0080] 同一对象在同一环境下的容抗测定中,容抗大小主要取决于膜内外响应生理容抗的介电物质浓度,所以膜对各种响应生理容抗的介电物质的通透性大小决定了细胞容抗大小,而对于叶片来说,容抗则更是取决于膜内外响应生理容抗的介电物质的浓度。外界激励改变介电物质的膜通透性,影响了膜内外响应生理容抗的介电物质的浓度,而膜内外响应生理容抗的介电物质的浓度差也服从能斯特(Nernst)方程,在膜外响应生理容抗的介电物质的浓度一定时,生理容抗则与细胞内响应生理容抗的介电物质的浓度成反比,由此可推导出,细胞的生理容抗也与外界激励的关系。

[0081] 植物细胞水分的多少关系着植物叶片细胞弹性的强弱,在不同的夹持力下,不同植物细胞膜的响应生理容抗的介电物质的通透性发生不同的改变,因此其生理容抗是不同的。

[0082] 能斯特方程的表达式如(10)式:

$$[0083] \quad E - E^0 = \frac{R_0 T}{n_{XC} F_0} \ln \frac{Q_i}{Q_o} \quad (10)$$

[0084] 其中,E为电动势, $E^0$ 为标准电动势, $R_0$ 是理想气体常数,等于  $8.314570 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ ; T是温度,单位K; $Q_i$ 为细胞膜内响应生理容抗的介电物质浓度, $Q_o$ 为细胞膜外响应生理容抗

的介电物质浓度,膜内外响应生理容抗的介电物质总量 $Q=Q_i+Q_o$ , $F_0$ 是法拉第常数,等于 $96485C\cdot mol^{-1}$ ;  $n_{XC}$ 是响应生理容抗的介电物质转移数,单位 $mol$ 。

[0085] 电动势 $E$ 的内能可转化成压力做功,与 $PV$ 成正比 $PV=aE$ ,即:

$$[0086] \quad PV = aE = aE^0 + \frac{aR_0T}{n_{XC}F_0} \ln \frac{Q_i}{Q_o} \quad (11)$$

[0087] 其中: $P$ 同样是植物细胞受到的压强, $a$ 同样是电动势转换能量系数, $V$ 同样为植物细胞体积;

[0088] 植物细胞受到的压强 $P$ 可由压强公式求出,压强公式: $P = \frac{F}{S}$ ,其中 $F$ 同样为夹持力, $S$ 为极板作用下的有效面积;

[0089] 在叶肉细胞里,液泡和细胞质占据了细胞内绝大部分空间。对叶肉细胞而言, $Q_o$ 与 $Q_i$ 之和是一定的,等于膜内外响应生理容抗的介电物质总量 $Q$ , $Q_i$ 则与响应生理容抗的介电物质电导率成正比,而响应生理容抗的介电物质电导率为容抗 $X_c$ 的倒数,因此, $\frac{Q_i}{Q_o}$ 可表达成

$$\frac{Q_i}{Q_o} = \frac{\frac{J_0}{X_c}}{Q - \frac{J_0}{X_c}} = \frac{J_0}{Q X_c - J_0}, X_c \text{ 为容抗, } J_0 \text{ 是细胞膜内响应生理容抗的介电物质浓度 } Q_i \text{ 与容抗之间转}$$

化的比例系数,因此,(11)可变成:

$$[0090] \quad \frac{V}{S} F = aE^0 - \frac{aR_0T}{n_{XC}F_0} \ln \frac{Q X_c - J_0}{J_0} \quad (12)$$

[0091] (12)式变形,得

$$[0092] \quad \frac{aR_0T}{n_{XC}F_0} \ln \frac{Q X_c - J_0}{J_0} = aE^0 - \frac{V}{S} F \quad (13)$$

[0093] (13)可变成:

$$[0094] \quad \ln \frac{Q X_c - J_0}{J_0} = \frac{n_{XC}F_0E^0}{RT} - \frac{V n_{XC}F_0}{S a RT} F \quad (14)$$

[0095] (14)式两边取指数,可变成:

$$[0096] \quad \frac{Q X_c - J_0}{J_0} = e^{\frac{n_{XC}F_0E^0}{R_0T}} e^{\left(-\frac{V n_{XC}F_0}{S a R_0T} F\right)} \quad (15)$$

[0097] 进一步变形,可得:

$$[0098] \quad X_c = \frac{J_0}{Q} + \frac{J_0}{Q} e^{\frac{n_{XC}F_0E^0}{R_0T}} e^{\left(-\frac{V n_{XC}F_0}{S a R_0T} F\right)} \quad (16)$$

[0099] 式(16)中 $X_c$ 为生理容抗,由于植物叶片的比有效厚度 $d = \frac{V}{S}$ , (16)式可变形为:

$$[0100] \quad X_c = \frac{J_0}{Q} + \frac{J_0}{Q} e^{\frac{n_{XC}F_0E^0}{R_0T}} e^{\left(-\frac{d n_{XC}F_0}{a R_0T} F\right)} \quad (17)$$

[0101] 对于同一个待测叶片在同一环境下,(17)式中 $d$ 、 $a$ 、 $E^0$ 、 $R_0$ 、 $T$ 、 $n_{XC}$ 、 $F_0$ 、 $Q$ 、 $J_0$ 都为定值,

令 $p_0 = \frac{J_0}{Q}$ 、 $k_2 = \frac{J_0}{Q} e^{\frac{n_{XC}F_0E^0}{R_0T}}$ 、 $b_2 = \frac{d n_{XC}F_0}{a R_0T}$ ,因此(17)式可变形为:

$$[0102] \quad X_c = p_0 + k_2 e^{-b_2 F} \quad (18)$$

[0103] (18)式中 $p_0$ 、 $k_2$ 和 $b_2$ 为模型的参数。 $\frac{n_{XC}F_0E^0}{R_0T} = \ln k_2 - \ln p_0$ ,在此, $\frac{n_{XC}F_0E^0}{R_0T}$ 中的 $E^0$ 、 $R_0$ 、 $T$ 与

$F_0$ 是定值,  $\frac{n_{XC} F_0 E^0}{R_0 T}$  只与响应生理容抗的介电物质转移数 $n_{XC}$ 成正比, 同样,  $b_2 = \frac{d n_{XC} F_0}{a R_0 T}$ , 在此,  $\frac{d n_{XC} F_0}{a R_0 T}$  中的 $d$ 、 $a$ 、 $R_0$ 、 $T$ 与 $F_0$ 是定值,  $\frac{d n_{XC} F_0}{a R_0 T}$  同样只与响应生理容抗的介电物质转移数 $n_{XC}$ 成正比, 因此,  $k$ 型响应生理容抗的介电物质转移数 $K_{n_{XC}} = \ln k_2 - \ln p_0$ ,  $b$ 型响应生理容抗的介电物质转移数 $B_{n_{XC}} = b_2$ 。

[0104] 同样, 在不同的夹持力下, 不同植物细胞膜的响应生理感抗的介电物质的通透性也发生不同的改变, 因此其生理感抗是不同的。

[0105] 能斯特方程的表达式如 (19) 式:

$$[0106] \quad E - E^0 = \frac{R_0 T}{n_{XL} F_0} \ln \frac{M_i}{M_o} \quad (19)$$

[0107] 其中,  $E$ 为电动势,  $E^0$ 为标准电动势,  $R_0$ 是理想气体常数, 等于 $8.314570 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ ;  $T$ 是温度, 单位 $\text{K}$ ;  $M_i$ 为细胞膜内响应生理感抗的介电物质浓度,  $M_o$ 为细胞膜外响应生理感抗的介电物质浓度, 膜内外响应生理感抗的介电物质总量 $M_T = M_i + M_o$ ,  $F_0$ 是法拉第常数, 等于 $96485 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ ;  $n_{XL}$ 是响应生理感抗的介电物质转移数, 单位 $\text{mol}$ 。

[0108] 电动势 $E$ 的内能可转化成压力做功, 与 $PV$ 成正比 $PV = aE$ , 即:

$$[0109] \quad PV = aE = aE^0 + \frac{a R_0 T}{n_{XL} F_0} \ln \frac{M_i}{M_o} \quad (20)$$

[0110] 其中:  $P$ 同样是植物细胞受到的压强,  $a$ 同样是电动势转换能量系数,  $V$ 同样为植物细胞体积;

[0111] 植物细胞受到的压强 $P$ 可由压强公式求出, 压强公式:  $P = \frac{F}{S}$ , 其中 $F$ 同样为夹持力,  $S$ 为极板作用下的有效面积;

[0112] 在叶肉细胞里, 液泡和细胞质占据了细胞内绝大部分空间。对叶肉细胞而言,  $M_o$ 与 $M_i$ 之和是一定的, 等于膜内外响应生理感抗的介电物质总量 $M_T$ ,  $M_i$ 则与响应生理感抗的介电物质电导率成正比, 而响应生理感抗的介电物质电导率为感抗 $X_1$ 的倒数, 因此,  $\frac{M_i}{M_o}$ 可表达

成 $\frac{M_i}{M_o} = \frac{\frac{L_0}{X_1}}{M_T - \frac{L_0}{X_1}} = \frac{L_0}{M_T X_1 - L_0}$ ,  $X_1$ 为感抗,  $L_0$ 是细胞膜内响应生理感抗的介电物质浓度 $M_i$ 与感抗之

间转化的比例系数, 因此, (20) 式可变成:

$$[0113] \quad \frac{V}{S} F = aE^0 - \frac{a R_0 T}{n_{XL} F_0} \ln \frac{M_T X_1 - L_0}{L_0} \quad (21)$$

[0114] (21) 式变形, 得

$$[0115] \quad \frac{a R_0 T}{n_{XL} F_0} \ln \frac{M_T X_1 - L_0}{L_0} = aE^0 - \frac{V}{S} F \quad (22)$$

[0116] (22) 可变成:

$$[0117] \quad \ln \frac{M_T X_1 - L_0}{L_0} = \frac{n_{XL} F_0 E^0}{RT} - \frac{V n_{XL} F_0}{S a RT} F \quad (23)$$

[0118] (23) 式两边取指数, 可变成:

$$[0119] \quad \frac{M_T X_1 - L_0}{L_0} = e^{\frac{n_{XL} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{V n_{XL} F_0}{S a R_0 T} F} \quad (24)$$

[0120] 进一步变形,可得:

$$[0121] \quad Xl = \frac{L_0}{M_T} + \frac{L_0}{M_T} e^{\frac{n_{XL} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{V n_{XL} F_0}{S a R_0 T} F} \quad (25)$$

[0122] 式(25)中Xl为生理感抗,由于植物叶片的比有效厚度  $d = \frac{V}{S}$ , (25)式可变形为:

$$[0123] \quad Xl = \frac{L_0}{M_T} + \frac{L_0}{M_T} e^{\frac{n_{XL} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{d n_{XL} F_0}{a R_0 T} F} \quad (26)$$

[0124] 对于同一个待测叶片在同一环境下, (26)式中d、a、 $E^0$ 、 $R_0$ 、T、 $n_{XL}$ 、 $F_0$ 、 $M_T$ 、 $L_0$ 都为定值,令  $q_0 = \frac{L_0}{M_T}$ 、 $k_3 = \frac{L_0}{M_T} e^{\frac{n_{XL} F_0 E^0}{R_0 T}}$ 、 $b_3 = \frac{d n_{XL} F_0}{a R_0 T}$ ,因此(26)式可变形为:

$$[0125] \quad Xl = q_0 + k_3 e^{-b_3 F} \quad (27)$$

[0126] (27)式中 $q_0$ 、 $k_3$ 和 $b_3$ 为模型的参数。 $e^{\frac{n_{XL} F_0 E^0}{R_0 T}} = \ln k_3 - \ln q_0$ ,在此, $\frac{n_{XL} F_0 E^0}{R_0 T}$ 中的 $E^0$ 、 $R_0$ 、T与 $F_0$ 是定值, $\frac{n_{XL} F_0 E^0}{R_0 T}$ 只与响应生理感抗的介电物质转移数 $n_{XL}$ 成正比,同样, $b_3 = \frac{d n_{XL} F_0}{a R_0 T}$ ,在此, $\frac{d n_{XL} F_0}{a R_0 T}$ 中的d、a、 $R_0$ 、T与 $F_0$ 是定值, $\frac{d n_{XL} F_0}{a R_0 T}$ 同样只与响应生理感抗的介电物质转移数 $n_{XL}$ 成正比,因此,k型响应生理感抗的介电物质转移数 $K_{n_{XL}} = \ln k_3 - \ln q_0$ ,b型响应生理感抗的介电物质转移数 $B_{n_{XL}} = b_3$ 。

[0127] 一种测定植物叶片细胞介电物质转移数的方法的测定装置,如图2所示,由支架1、泡沫板2、电极板3、电导线4、铁块5、塑料棒6、固定夹7组成;支架1为矩形框架结构、且一侧开放,支架1上端开有通孔,供塑料棒6伸入,支架1下端朝内一侧及塑料棒6底端分别粘有两个泡沫板2,泡沫板2内镶嵌电极板3,两个电极板3各自引出一根导线4,用于与LCR测试仪(HI0KI3532-50型,日本日置)连接,塑料棒6的泡沫板2上可放置固定质量的铁块5,并联模式测定植物叶片的生理电阻、生理阻抗、生理电容;塑料棒6位于支架内部的一端由固定夹7进行固定,当塑料棒下端与支架端合在一起时,两个电极板3就完全对应在一起;电极板3为材质为铜的圆形极板,以减少电极的边缘效应。

[0128] 本发明的使用步骤如下:使用时先将本发明装置的两根导线4与LCR测试仪的9140四端子测试探头相连,再抬起塑料棒6,使两电极板3将待测量的植物叶片夹持住,电极板的直径10mm,设置测定电压1.5伏,测定频率为3000Hz,标定塑料棒与电极片的质量以及铁块5的质量,并联模式测定不同夹持力下植物叶片生理电阻、生理阻抗、生理电容。

[0129] 实施例

[0130] 以白及为例。在中科院贵州省普定喀斯特生态综合试验站的基地内采摘二年生白及植株,迅速返回实验室,清理所述新鲜枝条上叶片的表面灰尘后,从新鲜枝条上分别一一采集待测叶片,放到蒸馏水中浸泡30分钟;吸干叶片表面水,立即将待测叶片夹在测定装置平行电极板之间,设置测定电压、频率,通过改变铁块的质量来设置不同的夹持力,并联模式测定不同夹持力下的植物叶片生理电容、生理电阻、生理阻抗;不同夹持力下白及不同叶位叶片的生理电容如表1、生理电阻如表2、生理阻抗如表3。依据表1的数据计算生理容抗如表4,依据表2、表3和表4的数据计算植物叶片生理感抗如表5;依据表2的数据构建植物叶片的生理电阻随夹持力变化模型如表6,依据表4的数据构建植物叶片的生理容抗随夹持力变化模型如表7。依据表5的数据构建植物叶片的生理感抗随夹持力变化模型如表8。依据表6

各模型的参数,分别获取k型响应生理电阻的介电物质转移数 $K_{nR}$ 和b型响应生理电阻的介电物质转移数 $B_{nR}$ (如表9);依据表7各模型的参数,分别获取k型响应生理容抗的介电物质转移数 $K_{nXC}$ 和b型响应生理容抗的介电物质转移数 $B_{nXC}$ (表9);依据表8各模型的参数,分别获取k型响应生理感抗的介电物质转移数 $K_{nXL}$ 和b型响应生理感抗的介电物质转移数 $B_{nXL}$ (表9);依据 $K_{nR}$ 、 $K_{nXC}$ 和 $K_{nXL}$ 获得k型总介电物质转移数 $K_{nT}$ (表9);依据 $B_{nR}$ 、 $B_{nXC}$ 和 $B_{nXL}$ 获得b型总介电物质转移数 $B_{nT}$ (表9);依据 $K_{nR}$ 、 $K_{nXC}$ 、 $K_{nXL}$ 以及 $K_{nT}$ ,分别获得k型响应生理电阻的介电物质转移百分数 $KP_{nR}$ 、k型响应生理容抗的介电物质转移百分数 $KP_{nXC}$ 和k型响应生理感抗的介电物质转移百分数 $KP_{nXL}$ (表10);依据 $B_{nR}$ 、 $B_{nXC}$ 、 $B_{nXL}$ 和 $B_{nT}$ ,分别获得b型响应生理电阻的介电物质转移百分数 $BP_{nR}$ 、b型响应生理容抗的介电物质转移百分数 $BP_{nXC}$ 和b型响应生理感抗的介电物质转移百分数 $BP_{nXL}$ (表10)。

[0131] 表1不同夹持力(F,单位N)下白及不同叶位叶片的生理电容(pF)

[0132]

F	第一叶位	第二叶位	第三叶位	第四叶位	第五叶位	F	第一叶位	第二叶位	第三叶位	第四叶位	第五叶位
1.139	28.0	27.9	34.0	35.3	106.0	4.212	82.2	98.1	113.0	140.0	361.0
1.139	28.0	28.1	34.2	35.5	106.0	4.212	82.4	98.3	113.0	141.0	362.0
1.139	28.3	28.2	34.4	35.8	106.0	4.212	82.6	98.5	113.0	141.0	364.0
1.139	28.4	28.4	34.6	36.1	107.0	4.212	82.9	98.7	113.0	141.0	365.0
1.139	28.7	28.5	34.7	36.3	107.0	4.212	83.3	98.8	114.0	142.0	366.0
1.139	29.0	28.7	34.9	36.6	108.0	5.245	93.8	111.0	127.0	159.0	464.0
1.139	28.9	28.8	35.1	36.8	108.0	5.245	94.1	111.0	128.0	159.0	467.0
1.139	29.0	28.9	35.2	37.0	108.0	5.245	94.4	112.0	128.0	160.0	470.0
1.139	29.1	29.0	35.4	37.2	109.0	5.245	94.6	112.0	129.0	160.0	472.0
1.139	29.4	29.2	35.5	37.5	109.0	5.245	94.8	112.0	129.0	162.0	474.0
1.139	29.4	29.3	35.7	37.7	110.0	5.245	95.2	112.0	129.0	164.0	476.0
2.149	48.5	56.1	65.9	68.0	184.0	5.245	95.5	112.0	129.0	165.0	478.0
2.149	48.8	56.4	66.2	68.4	185.0	5.245	95.8	113.0	130.0	165.0	480.0
2.149	49.1	56.7	66.5	68.9	186.0	5.245	96.0	113.0	130.0	166.0	483.0
2.149	49.4	56.9	66.8	69.4	186.0	5.245	96.3	113.0	130.0	166.0	485.0
2.149	49.7	57.2	67.0	69.8	187.0	5.245	96.5	113.0	131.0	167.0	487.0
2.149	49.9	57.4	67.3	70.2	187.0	6.262	107.0	124.0	145.0	193.0	608.0
2.149	50.1	57.4	67.6	70.6	188.0	6.262	107.0	124.0	145.0	194.0	611.0
2.149	50.4	57.7	67.8	71.0	189.0	6.262	108.0	124.0	145.0	195.0	614.0
2.149	50.6	58.0	68.0	71.4	189.0	6.262	108.0	125.0	146.0	196.0	616.0
2.149	50.8	58.3	68.3	71.7	190.0	6.262	108.0	125.0	146.0	197.0	619.0
2.149	51.0	58.5	68.5	72.1	190.0	6.262	108.0	125.0	146.0	197.0	621.0
3.178	65.0	78.0	91.9	100.0	259.0	6.262	109.0	125.0	147.0	198.0	623.0
3.178	65.3	78.3	92.2	101.0	260.0	6.262	109.0	126.0	147.0	198.0	626.0
3.178	65.6	78.5	92.4	101.0	261.0	6.262	109.0	126.0	147.0	199.0	628.0
3.178	65.8	78.7	92.6	102.0	262.0	6.262	110.0	126.0	147.0	200.0	631.0
3.178	66.1	78.9	92.9	102.0	263.0	6.262	110.0	126.0	148.0	201.0	633.0
3.178	66.4	79.1	93.1	103.0	264.0	7.311	123.0	137.0	160.0	233.0	868.0
3.178	66.6	79.3	93.3	103.0	265.0	7.311	123.0	137.0	160.0	234.0	870.0
3.178	66.9	79.5	93.5	104.0	266.0	7.311	123.0	137.0	161.0	234.0	872.0
3.178	67.1	79.7	93.7	104.0	267.0	7.311	124.0	138.0	161.0	235.0	874.0
3.178	67.4	79.9	93.8	105.0	268.0	7.311	124.0	138.0	161.0	236.0	876.0
3.178	67.6	80.1	94.1	105.0	268.0	7.311	124.0	138.0	162.0	236.0	878.0
4.212	80.7	96.6	111.0	138.0	352.0	7.311	125.0	139.0	162.0	237.0	880.0
4.212	81.0	96.7	112.0	138.0	353.0	7.311	125.0	139.0	162.0	238.0	882.0
4.212	81.3	97.0	112.0	138.0	355.0	7.311	125.0	139.0	163.0	238.0	884.0
4.212	81.5	97.4	112.0	139.0	357.0	7.311	126.0	140.0	163.0	239.0	886.0
4.212	81.8	97.6	112.0	139.0	358.0	7.311	126.0	140.0	163.0	240.0	888.0

[0133]

4.212	82.0	97.9	112.0	140.0	360.0						
-------	------	------	-------	-------	-------	--	--	--	--	--	--

[0134]

表2不同夹持力(F,单位N)下白及不同叶位叶片的生理电阻(MΩ)

[0135]

F	第一叶位	第二叶位	第三叶位	第四叶位	第五叶位	F	第一叶位	第二叶位	第三叶位	第四叶位	第五叶位
1.139	9.870	15.100	6.890	6.640	1.100	4.212	2.630	2.140	1.870	1.300	0.317
1.139	10.500	15.000	6.920	6.550	1.100	4.212	2.620	2.130	1.870	1.290	0.315
1.139	10.200	14.900	6.970	6.470	1.100	4.212	2.620	2.130	1.880	1.300	0.313
1.139	10.300	14.800	7.060	6.390	1.100	4.212	2.610	2.120	1.880	1.300	0.312
1.139	10.900	14.600	7.140	6.310	1.090	4.212	2.570	2.120	1.880		0.311
1.139	9.170	14.500	7.230	6.240	1.090	5.245	2.140	1.840	1.740	1.150	0.251
1.139	10.700	14.400	7.320	6.170	1.090	5.245	2.130	1.840	1.720	1.150	0.247
1.139	11.200	14.400	7.390	6.100	1.090	5.245	2.120	1.840	1.720	1.150	0.245
1.139	10.600	14.200	7.480	6.040	1.080	5.245	2.120	1.830	1.720	1.140	0.244
1.139	10.300	14.200	7.530	5.970	1.080	5.245	2.110	1.830	1.710	1.130	0.242
1.139	10.500	14.000	7.560	5.920	1.080	5.245	2.110	1.820	1.710	1.120	0.241
2.149	4.840	4.690	3.410	2.920	0.631	5.245	2.110	1.820	1.710	1.120	0.240
2.149	4.770	4.550	3.390	2.910	0.629	5.245	2.110	1.810	1.710	1.120	0.239
2.149	4.700	4.490	3.400	2.890	0.627	5.245	2.100	1.810	1.710	1.110	0.238
2.149	4.620	4.450	3.400	2.870	0.625	5.245	2.100	1.810	1.700	1.110	0.237
2.149	4.550	4.410	3.400	2.850	0.623	5.245	2.090	1.800	1.700	1.110	0.236
2.149	4.510	4.370	3.390	2.830	0.621	6.262	1.930	1.590	1.530	0.937	0.194
2.149	4.480	4.330	3.390	2.820	0.620	6.262	1.930	1.590	1.530	0.934	0.193
2.149	4.470	4.290	3.390	2.800	0.619	6.262	1.920	1.590	1.520	0.935	0.192
2.149	4.460	4.280	3.390	2.790	0.617	6.262	1.920	1.580	1.520	0.933	0.192
2.149	4.430	4.240	3.370	2.780	0.616	6.262	1.910	1.580	1.520	0.932	0.190
2.149	4.410	4.170	3.350	2.760	0.614	6.262	1.910	1.570	1.520	0.930	0.189
3.178	3.550	2.850	2.220	1.940	0.431	6.262	1.900	1.570	1.510	0.929	0.188
3.178	3.530	2.840	2.210	1.940	0.430	6.262	1.900	1.570	1.510	0.927	0.188
3.178	3.510	2.830	2.210	1.920	0.429	6.262	1.890	1.560	1.510	0.926	0.188
3.178	3.470	2.830	2.210	1.900	0.428	6.262	1.890	1.560	1.500	0.924	0.187
3.178	3.450	2.820	2.210	1.890	0.427	6.262	1.890	1.560	1.500	0.925	0.186
3.178	3.440	2.820	2.210	1.880	0.426	7.311	1.770	1.470	1.400	0.851	0.140
3.178	3.430	2.810	2.210	1.870	0.424	7.311	1.760	1.470	1.400	0.850	0.140
3.178	3.410	2.800	2.210	1.870	0.423	7.311	1.750	1.460	1.390	0.849	0.139
3.178	3.390	2.790	2.210	1.860	0.421	7.311	1.750	1.460	1.390	0.847	0.139
3.178	3.380	2.780	2.210	1.850	0.420	7.311	1.750	1.460	1.390	0.846	0.139
3.178	3.360	2.770	2.210	1.840	0.419	7.311	1.740	1.450	1.380	0.845	0.138
4.212	2.690	2.200	1.870	1.340	0.324	7.311	1.740	1.450	1.380	0.844	0.138
4.212	2.680	2.190	1.870	1.330	0.323	7.311	1.740	1.450	1.380	0.843	0.138

[0136]

4.212	2.670	2.160	1.870	1.330	0.322	7.311	1.730	1.440	1.380	0.841	0.138
4.212	2.660	2.140	1.870	1.330	0.321	7.311	1.730	1.440	1.370	0.839	0.138
4.212	2.650	2.140	1.870	1.320	0.319	7.311	1.730	1.440	1.370	0.837	0.137
4.212	2.640	2.140	1.870	1.320	0.318						

[0137] 表3不同夹持力(F,单位N)下白及不同叶位叶片的生理阻抗(MΩ)

[0138]

F	第一叶位	第二叶位	第三叶位	第四叶位	第五叶位	F	第一叶位	第二叶位	第三叶位	第四叶位	第五叶位
1.139	1.860	1.880	1.520	1.470	0.457	4.212	0.627	0.524	0.457	0.364	0.133
1.139	1.860	1.870	1.510	1.460	0.456	4.212	0.625	0.523	0.456	0.362	0.133
1.139	1.840	1.860	1.510	1.440	0.454	4.212	0.624	0.522	0.455	0.361	0.132
1.139	1.840	1.850	1.500	1.430	0.453	4.212	0.622	0.521	0.454	0.361	0.132
1.139	1.820	1.850	1.490	1.420	0.451	4.212	0.618	0.520	0.453	0.360	0.131
1.139	1.800	1.840	1.490	1.410	0.449	5.245	0.547	0.462	0.405	0.321	0.104
1.139	1.810	1.830	1.480	1.400	0.448	5.245	0.545	0.462	0.403	0.320	0.103
1.139	1.810	1.820	1.480	1.400	0.446	5.245	0.543	0.461	0.402	0.318	0.103
1.139	1.800	1.810	1.470	1.390	0.445	5.245	0.542	0.460	0.401	0.318	0.102
1.139	1.780	1.800	1.460	1.380	0.444	5.245	0.541	0.459	0.400	0.314	0.102
1.139	1.780	1.790	1.460	1.370	0.442	5.245	0.539	0.458	0.399	0.310	0.101
2.149	1.070	0.927	0.783	0.754	0.262	5.245	0.537	0.457	0.399	0.309	0.101
2.149	1.060	0.921	0.780	0.749	0.261	5.245	0.536	0.456	0.398	0.308	0.100
2.149	1.050	0.916	0.776	0.744	0.260	5.245	0.534	0.455	0.397	0.308	0.100
2.149	1.050	0.912	0.774	0.739	0.259	5.245	0.533	0.454	0.396	0.306	0.099
2.149	1.040	0.908	0.771	0.734	0.258	5.245	0.532	0.453	0.395	0.305	0.099
2.149	1.030	0.905	0.768	0.730	0.258	6.262	0.480	0.414	0.356	0.264	0.080
2.149	1.030	0.903	0.765	0.726	0.257	6.262	0.479	0.413	0.356	0.263	0.079
2.149	1.020	0.899	0.762	0.722	0.256	6.262	0.478	0.412	0.355	0.261	0.079
2.149	1.020	0.894	0.760	0.718	0.255	6.262	0.477	0.411	0.354	0.260	0.079
2.149	1.020	0.890	0.757	0.715	0.255	6.262	0.475	0.410	0.354	0.259	0.078
2.149	1.010	0.886	0.754	0.711	0.254	6.262	0.474	0.410	0.353	0.258	0.078
3.178	0.795	0.661	0.558	0.511	0.185	6.262	0.473	0.409	0.352	0.258	0.078
3.178	0.792	0.659	0.557	0.508	0.184	6.262	0.471	0.408	0.351	0.257	0.077
3.178	0.789	0.658	0.556	0.505	0.184	6.262	0.470	0.407	0.351	0.256	0.077
3.178	0.785	0.656	0.554	0.502	0.183	6.262	0.469	0.406	0.350	0.255	0.077
3.178	0.782	0.655	0.553	0.500	0.182	6.262	0.468	0.406	0.349	0.254	0.077
3.178	0.779	0.653	0.552	0.498	0.182	7.311	0.420	0.375	0.323	0.220	0.056
3.178	0.776	0.651	0.551	0.496	0.181	7.311	0.419	0.374	0.322	0.219	0.056
3.178	0.772	0.649	0.550	0.494	0.180	7.311	0.418	0.373	0.321	0.219	0.056
3.178	0.770	0.648	0.549	0.491	0.180	7.311	0.417	0.372	0.321	0.218	0.056
3.178	0.767	0.646	0.548	0.489	0.179	7.311	0.415	0.372	0.320	0.218	0.056

[0139]

3.178	0.764	0.645	0.547	0.487	0.179	7.311	0.414	0.371	0.319	0.217	0.055
4.212	0.638	0.533	0.462	0.370	0.137	7.311	0.413	0.370	0.319	0.216	0.055
4.212	0.636	0.532	0.461	0.369	0.136	7.311	0.412	0.369	0.318	0.216	0.055
4.212	0.634	0.530	0.460	0.368	0.136	7.311	0.411	0.368	0.318	0.215	0.055
4.212	0.632	0.528	0.459	0.367	0.135	7.311	0.410	0.367	0.317	0.215	0.055
4.212	0.630	0.527	0.458	0.366	0.134	7.311	0.409	0.367	0.316	0.214	0.055
4.212	0.628	0.526	0.457	0.365	0.134						

[0140] 表4不同夹持力(F单位N)下白及不同叶位叶片的生理容抗(MΩ)

[0141]

F	第一叶位	第二叶位	第三叶位	第四叶位	第五叶位	F	第一叶位	第二叶位	第三叶位	第四叶位	第五叶位
1.139	1.895	1.901	1.560	1.503	0.500	4.212	0.645	0.541	0.469	0.379	0.147
1.139	1.895	1.888	1.551	1.494	0.500	4.212	0.644	0.540	0.469	0.376	0.147
1.139	1.875	1.881	1.542	1.482	0.500	4.212	0.642	0.539	0.469	0.376	0.146
1.139	1.868	1.868	1.533	1.470	0.496	4.212	0.640	0.538	0.469	0.376	0.145
1.139	1.848	1.861	1.529	1.461	0.496	4.212	0.637	0.537	0.465	0.374	0.145
1.139	1.829	1.848	1.520	1.449	0.491	5.245	0.566	0.478	0.418	0.334	0.114
1.139	1.836	1.842	1.511	1.442	0.491	5.245	0.564	0.478	0.414	0.334	0.114
1.139	1.829	1.836	1.507	1.434	0.491	5.245	0.562	0.474	0.414	0.332	0.113
1.139	1.823	1.829	1.499	1.426	0.487	5.245	0.561	0.474	0.411	0.332	0.112
1.139	1.804	1.817	1.494	1.415	0.487	5.245	0.560	0.474	0.411	0.327	0.112
1.139	1.780	1.811	1.486	1.407	0.482	5.245	0.557	0.474	0.411	0.323	0.111
2.149	1.094	0.946	0.805	0.780	0.288	5.245	0.556	0.474	0.411	0.322	0.111
2.149	1.087	0.941	0.801	0.776	0.287	5.245	0.554	0.469	0.408	0.322	0.111
2.149	1.080	0.936	0.798	0.770	0.285	5.245	0.553	0.469	0.408	0.320	0.110
2.149	1.074	0.932	0.794	0.764	0.285	5.245	0.551	0.469	0.408	0.320	0.109
2.149	1.067	0.927	0.792	0.760	0.284	5.245	0.550	0.469	0.405	0.318	0.109
2.149	1.063	0.924	0.788	0.756	0.284	6.262	0.496	0.428	0.366	0.275	0.087
2.149	1.059	0.924	0.785	0.751	0.282	6.262	0.496	0.428	0.366	0.273	0.087
2.149	1.053	0.919	0.782	0.747	0.281	6.262	0.491	0.428	0.366	0.272	0.086
2.149	1.048	0.915	0.780	0.743	0.281	6.262	0.491	0.424	0.363	0.271	0.086
2.149	1.044	0.910	0.777	0.740	0.279	6.262	0.491	0.424	0.363	0.269	0.086
2.149	1.040	0.907	0.774	0.736	0.279	6.262	0.491	0.424	0.363	0.269	0.085
3.178	0.816	0.680	0.577	0.531	0.205	6.262	0.487	0.424	0.361	0.268	0.085
3.178	0.812	0.678	0.575	0.525	0.204	6.262	0.487	0.421	0.361	0.268	0.085
3.178	0.809	0.676	0.574	0.525	0.203	6.262	0.487	0.421	0.361	0.267	0.084
3.178	0.806	0.674	0.573	0.520	0.202	6.262	0.482	0.421	0.361	0.265	0.084
3.178	0.803	0.672	0.571	0.520	0.202	6.262	0.482	0.421	0.358	0.264	0.084
3.178	0.799	0.671	0.570	0.515	0.201	7.311	0.431	0.387	0.332	0.228	0.061
3.178	0.797	0.669	0.569	0.515	0.200	7.311	0.431	0.387	0.332	0.227	0.061

[0142]

3.178	0.793	0.667	0.567	0.510	0.199	7.311	0.431	0.387	0.330	0.227	0.061
3.178	0.791	0.666	0.566	0.510	0.199	7.311	0.428	0.384	0.330	0.226	0.061
3.178	0.787	0.664	0.566	0.505	0.198	7.311	0.428	0.384	0.330	0.225	0.061
3.178	0.785	0.662	0.564	0.505	0.198	7.311	0.428	0.384	0.327	0.225	0.060
4.212	0.657	0.549	0.478	0.384	0.151	7.311	0.424	0.382	0.327	0.224	0.060
4.212	0.655	0.549	0.474	0.384	0.150	7.311	0.424	0.382	0.327	0.223	0.060
4.212	0.653	0.547	0.474	0.384	0.149	7.311	0.424	0.382	0.325	0.223	0.060
4.212	0.651	0.545	0.474	0.382	0.149	7.311	0.421	0.379	0.325	0.222	0.060
4.212	0.649	0.544	0.474	0.382	0.148	7.311	0.421	0.379	0.325	0.221	0.060
4.212	0.647	0.542	0.474	0.379	0.147						

[0143] 表5不同夹持力(F,单位N)下白及不同叶位叶片的生理感抗(MΩ)

[0144]

F	第一叶位	第二叶位	第三叶位	第四叶位	第五叶位	F	第一叶位	第二叶位	第三叶位	第四叶位	第五叶位
1.139	10.932	16.607	7.805	7.368	1.391	4.212	2.987	2.451	2.098	1.513	0.410
1.139	11.711	16.239	7.879	7.305	1.400	4.212	2.986	2.437	2.120	1.491	0.403
1.139	11.363	16.383	7.713	7.411	1.419	4.212	2.975	2.436	2.155	1.522	0.403
1.139	11.244	16.037	7.863	7.264	1.392	4.212	2.958	2.423	2.177	1.522	0.398
1.139	12.008	15.345	8.130	7.221	1.395	4.212	2.931	2.433	2.113		0.403
1.139	9.987	15.044	7.999	7.096	1.377	5.245	2.456	2.122	2.002	1.331	0.321
1.139	11.665	15.183	8.159	7.069	1.387	5.245	2.449	2.122	1.950	1.348	0.318
1.139	11.985	15.445	8.120	6.799	1.406	5.245	2.442	2.060	1.974	1.350	0.309
1.139	11.454	15.486	8.285	6.787	1.364	5.245	2.440	2.067	1.926	1.336	0.313
1.139	11.177	15.320	8.545	6.679	1.373	5.245	2.425	2.088	1.937	1.326	0.306
1.139	11.413	15.370	8.314	6.684	1.357	5.245	2.421	2.096	1.960	1.319	0.310
2.149	5.369	5.210	3.871	3.356	0.809	5.245	2.428	2.117	1.960	1.304	0.305
2.149	5.373	5.073	3.835	3.357	0.803	5.245	2.415	2.043	1.913	1.322	0.309
2.149	5.379	5.005	3.862	3.326	0.797	5.245	2.421	2.063	1.937	1.277	0.304
2.149	5.122	4.981	3.827	3.296	0.803	5.245	2.408	2.084	1.948	1.312	0.303
2.149	5.126	4.911	3.846	3.288	0.797	5.245	2.394	2.092	1.902	1.299	0.302
2.149	5.223	4.858	3.824	3.260	0.794	6.262	2.214	1.815	1.731	1.090	0.247
2.149	5.084	4.866	3.816	3.247	0.790	6.262	2.235	1.835	1.731	1.081	0.246
2.149	5.172	4.799	3.837	3.221	0.786	6.262	2.153	1.855	1.742	1.094	0.244
2.149	5.060	4.800	3.832	3.210	0.793	6.262	2.173	1.798	1.709	1.087	0.245
2.149	4.929	4.735	3.800	3.199	0.779	6.262	2.202	1.818	1.709	1.081	0.242
2.149	5.051	4.676	3.796	3.176	0.785	6.262	2.224	1.805	1.733	1.096	0.241
3.178	4.015	3.244	2.560	2.255	0.557	6.262	2.142	1.824	1.689	1.072	0.239
3.178	3.976	3.220	2.531	2.218	0.558	6.262	2.184	1.782	1.712	1.087	0.239
3.178	3.937	3.192	2.528	2.250	0.551	6.262	2.193	1.789	1.712	1.081	0.240
3.178	3.928	3.201	2.545	2.188	0.552	6.262	2.126	1.808	1.723	1.075	0.238

[0145]

3.178	3.890	3.173	2.530	2.214	0.554	6.262	2.147	1.808	1.692	1.072	0.236
3.178	3.867	3.182	2.527	2.149	0.547	7.311	1.990	1.678	1.577	0.979	0.177
3.178	3.872	3.179	2.524	2.173	0.547	7.311	2.000	1.698	1.601	0.979	0.177
3.178	3.862	3.176	2.521	2.124	0.549	7.311	2.010	1.705	1.565	0.978	0.176
3.178	3.830	3.149	2.518	2.168	0.540	7.311	1.958	1.672	1.565	0.977	0.176
3.178	3.809	3.147	2.527	2.106	0.542	7.311	2.003	1.672	1.589	0.958	0.176
3.178	3.803	3.120	2.512	2.131	0.540	7.311	2.014	1.679	1.554	0.977	0.174
4.212	3.072	2.505	2.162	1.551	0.413	7.311	1.962	1.647	1.554	0.978	0.174
4.212	3.052	2.502	2.098	1.555	0.417	7.311	1.985	1.667	1.578	0.959	0.174
4.212	3.033	2.472	2.119	1.573	0.409	7.311	1.995	1.675	1.533	0.976	0.175
4.212	3.031	2.443	2.140	1.545	0.410	7.311	1.945	1.643	1.544	0.956	0.174
4.212	3.012	2.442	2.162	1.549	0.413	7.311	1.968	1.643	1.568	0.956	0.173
4.212	3.011	2.430	2.185	1.523	0.405						

[0146] 表6白及不同叶位叶片的生理电阻 (R) 随夹持力 (F) 变化模型 (R-F) 及参数

生理电阻 (R) 随夹持力 (F) 变化模型 (R-F) 方程和参数				
叶位	$y_0$	$k_1$	$b_1$	方程
第一	1.994	26.679	1.023	$R=1.994+26.679 e^{-1.023 F}$ $R^2=0.986, P<0.0001, n=76$
第二	1.766	69.316	1.486	$R=1.766+69.316 e^{-1.486 F}$ $R^2=0.996, P<0.0001, n=76$
第三	1.537	19.187	1.070	$R=1.537+19.187 e^{-1.070 F}$ $R^2=0.996, P<0.0001, n=76$
第四	0.925	15.449	0.939	$R=0.925+15.449 e^{-0.939 F}$ $R^2=0.988, P<0.0001, n=75$
第五	0.145	1.853	0.601	$R=0.145+1.853 e^{-0.601 F}$ $R^2=0.995, P<0.0001, n=76$

[0147] 表7白及不同叶位叶片的生理容抗 ( $X_c$ ) 随夹持力 (F) 变化模型 ( $X_c$ -F) 及参数

生理容抗 ( $X_c$ ) 随夹持力 (F) 变化模型 ( $X_c$ -F) 方程和参数				
叶位	$p_0$	$k_2$	$b_2$	方程
第一	0.460	3.121	0.723	$X_c=0.460+3.121 e^{-0.723 F}$ $R^2=0.993, P<0.0001, n=76$
第二	0.425	4.149	0.943	$X_c=0.425+4.149 e^{-0.943 F}$ $R^2=0.995, P<0.0001, n=76$
第三	0.363	3.202	0.900	$X_c=0.363+3.202 e^{-0.900 F}$ $R^2=0.994, P<0.0001, n=76$
第四	0.251	2.899	0.780	$X_c=0.251+2.899 e^{-0.780 F}$ $R^2=0.995, P<0.0001, n=76$
第五	0.061	0.809	0.564	$X_c=0.061+0.809 e^{-0.564 F}$ $R^2=0.994, P<0.0001, n=76$

[0148] 表8白及不同叶位叶片的生理感抗 ( $X_l$ ) 随夹持力 (F) 变化模型 ( $X_l$ -F) 及参数

叶位	生理感抗 (Xl) 随夹持力 (F) 变化模型 (Xl-F) 方程和参数			
	q <sub>0</sub>	k <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	方程
第一	2.254	27.688	0.985	$Xl = 2.254 + 27.688 e^{-0.985 F}$ R <sup>2</sup> =0.987, P<0.0001, n=76
第二	2.017	71.473	1.455	$Xl = 2.017 + 71.4739 e^{-1.455 F}$ R <sup>2</sup> =0.995, P<0.0001, n=76
第三	1.742	20.889	1.051	$Xl = 1.742 + 20.889 e^{-1.051 F}$ R <sup>2</sup> =0.996, P<0.0001, n=76
第四	1.090	16.812	0.915	$Xl = 1.090 + 16.812 e^{-0.915 F}$ R <sup>2</sup> =0.994, P<0.0001, n=75
第五	0.181	2.329	0.589	$Xl = 0.181 + 2.329 e^{-0.589 F}$ R <sup>2</sup> =0.995, P<0.0001, n=76

[0152] 表9不同叶位叶片的k型响应生理电阻的介电物质转移数K<sub>nR</sub>、响应生理容抗的介电物质转移数K<sub>nXC</sub>、响应生理感抗的介电物质转移数K<sub>nXL</sub>、k型总介电物质转移数K<sub>nT</sub>以及b型响应生理电阻的介电物质转移数B<sub>nR</sub>、响应生理容抗的介电物质转移数B<sub>nXC</sub>、响应生理感抗的介电物质转移数B<sub>nXL</sub>、b型总介电物质转移数B<sub>nT</sub>

叶位	k 型				b 型			
	K <sub>nR</sub>	K <sub>nXC</sub>	K <sub>nXL</sub>	K <sub>nT</sub>	B <sub>nR</sub>	B <sub>nXC</sub>	B <sub>nXL</sub>	B <sub>nT</sub>
第一	2.594	1.916	2.508	7.018	1.023	0.723	0.985	2.731
第二	3.670	2.277	3.568	9.515	1.486	0.943	1.455	3.884
第三	2.524	2.177	2.484	7.185	1.070	0.900	1.051	3.021
第四	2.815	2.446	2.736	7.997	0.939	0.780	0.915	2.634
第五	2.549	2.584	2.556	7.689	0.601	0.564	0.589	1.754

[0153] 表10不同叶位叶片的k型响应生理电阻的介电物质转移百分数K<sub>PnR</sub>(%)、响应生理容抗的介电物质转移百分数K<sub>PnXC</sub>(%)、响应生理感抗的介电物质转移百分数K<sub>PnXL</sub>(%)以及b型响应生理电阻的介电物质转移百分数B<sub>PnR</sub>(%)、响应生理容抗的介电物质转移百分数B<sub>PnXC</sub>(%)和响应生理感抗的介电物质转移百分数B<sub>PnXL</sub>(%)

叶位	k 型			b 型		
	KP <sub>nR</sub>	KP <sub>nXC</sub>	KP <sub>nXL</sub>	BP <sub>nR</sub>	BP <sub>nXC</sub>	BP <sub>nXL</sub>
第一	0.370	0.273	0.357	0.375	0.265	0.361
[0157] 第二	0.386	0.239	0.375	0.383	0.243	0.375
第三	0.351	0.303	0.346	0.354	0.298	0.348
第四	0.352	0.306	0.342	0.356	0.296	0.347
第五	0.332	0.336	0.332	0.343	0.322	0.336

[0158] 本发明的实施效果如下：

[0159] 从表10中可以看出，无论是k型还是b型，同一类型的介电物质转移百分数不同叶位的白及叶片均不相同，但是同一叶位的白及叶片，同一类型的介电物质转移百分数差异较小。另外，从表10中还可以看到，响应生理电阻的介电物质转移百分数和响应生理感抗的介电物质转移百分数差异较小，且一般皆是响应生理电阻的介电物质转移百分数大于响应生理感抗的介电物质转移百分数，这可能与响应生理电阻的介电物质转移百分数反映的是被动运输的情况，而响应生理感抗的介电物质转移百分数反映的是载体运输情况，两者物质流动方向相反，电荷接近平衡，膜外保持微弱的负电荷这些事实相关联。

[0160] 响应生理容抗的介电物质转移百分数与膜内外电势差有关，而膜内外电势差与膜内外物质浓度差有关，膜内外电势差越大，膜内物质浓度越大，可被转移的物质越多；因此，就源库关系来说，响应生理容抗的介电物质转移百分数越大，作为源的作用越大，反之则小。从表10中可以看出，就水分和储存的有机营养来说，第五叶位的叶片的源的作用大于第四、第三叶位，第一、第二叶位的叶片库的作用大于第三、第四叶位。这说明新生叶需要从成熟叶中获取水分和营养，相比成熟叶来说，新生叶具有库的特征，而成熟叶则具有源的特征。相比于“单头型”白及组培种茎来说，马鞍型白及组培种茎，因为两倍的源库比，加速了白及新生叶的生长发育，使之在生产上更具有优势。另外，高产白及都具有基部叶肥大、脱落晚的特征，这些都可以用本发明的实例来解释的。

[0161] 上述虽然结合附图对本发明的具体实施方式进行了描述，但并非对本发明保护范围的限制，所属领域技术人员应该明白，在本发明的技术方案的基础上，本领域技术人员不需要付出创造性劳动即可做出的各种修改或变形仍在本发明的保护范围以内。

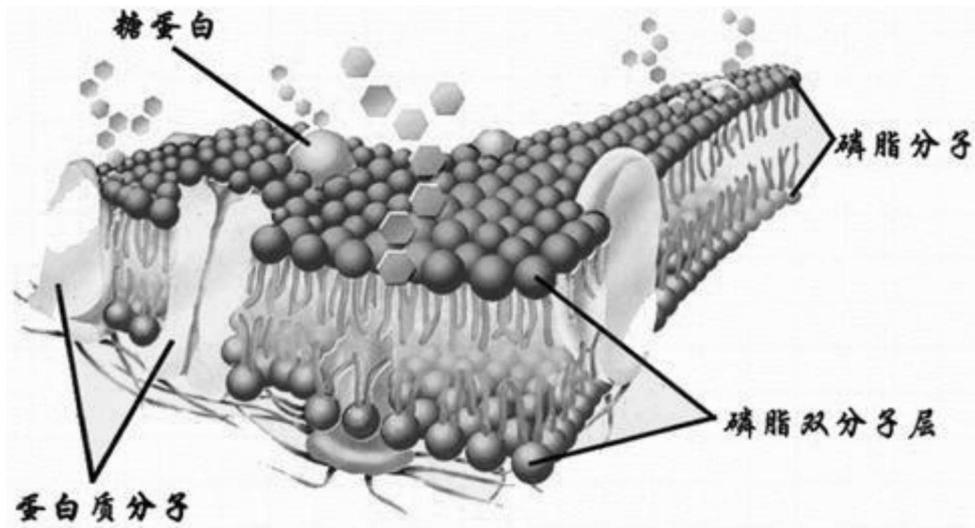


图1

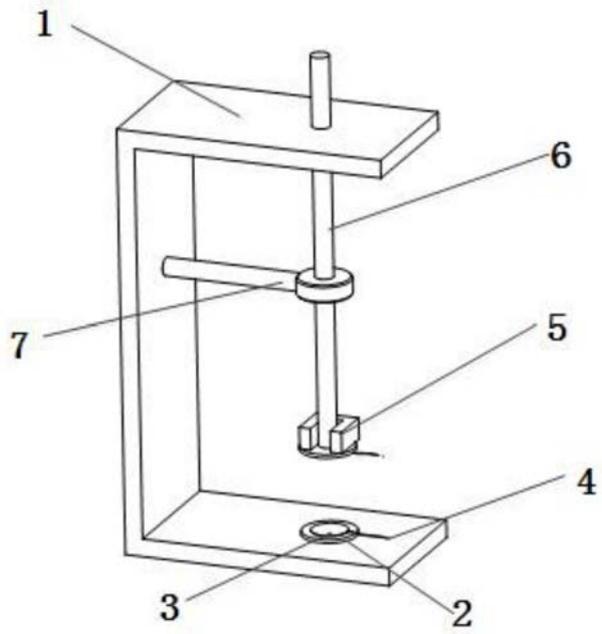


图2