



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110646467 B

(45) 授权公告日 2021.07.23

(21) 申请号 201910956185.6

(22) 申请日 2019.10.10

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110646467 A

(43) 申请公布日 2020.01.03

(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

(72) 发明人 吴沿友 张承 于睿 苏跃
吴沿胜 方蕾 吴明开 王瑞

(74) 专利代理机构 贵阳中新专利商标事务所
52100
代理人 刘艳

(51) Int. Cl.
G01N 27/02 (2006.01)
G01N 27/22 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 108489867 A, 2018.09.04

CN 108872317 A, 2018.11.23

CN 109060886 A, 2018.12.21

CN 109655496 A, 2019.04.19

CN 109916971 A, 2019.06.21

CN 2480844 Y, 2002.03.06

CN 103630656 A, 2014.03.12

CN 107402243 A, 2017.11.28

WO 2014017940 A1, 2014.01.30

魏永胜等. 小麦叶片电特性与外加电压和频率的关系研究.《农业工程学报》.2008,第24卷(第5期),第166-169页.

Tapani Repo. Physical and physiological aspects of impedance measurements in plants.《Silva Fennica》.1988,第22卷(第3期),第181-193页.

审查员 周子豪

权利要求书3页 说明书13页 附图1页

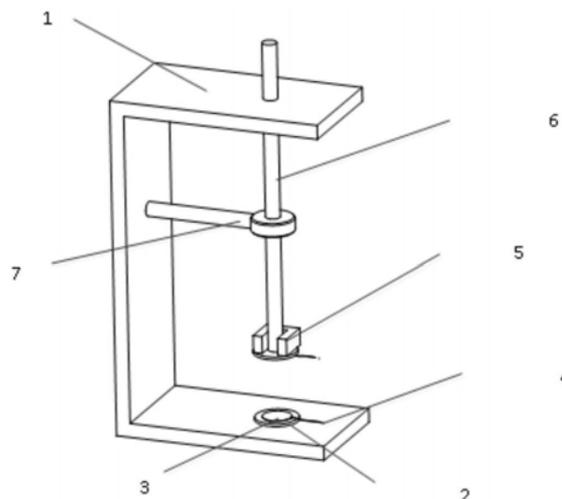
(54) 发明名称

一种定量植物胞内水分利用效率和相对持水时间的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种定量植物胞内水分利用效率和相对持水时间的方法,属于农业工程和农作物信息检测技术领域,测定不同夹持力下植物叶片生理阻抗和生理电容,进一步计算植物叶片生理容抗;构建植物叶片的生理电容随夹持力变化、植物叶片的生理阻抗随夹持力变化、植物叶片的生理容抗随夹持力变化模型,利用上述三个模型的参数计算植物叶片的比有效厚度、固有生理阻抗、固有生理容抗,进而计算叶片相对持水量、叶片胞内水分利用效率、相对持水时间和叶片导水速率。本发明不仅可以快速、在线定量检测不同环境下不同植物对水分的持有能力和供需能力,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对环境的适应特征。

CN 110646467 B



1. 一种定量植物胞内水分利用效率和相对持水时间的方法,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;

步骤三,从新鲜枝条上采集待测叶片,放到蒸馏水中浸泡;

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和生理阻抗;

步骤五,根据植物叶片生理电容计算生理容抗;

步骤六,构建植物叶片的生理电容随夹持力变化模型,获得模型的各个参数;植物叶片的生理电容 C_p 随夹持力 F 变化方程为: $C_p = \frac{2\Delta H}{U^2} + \frac{2d}{U^2}F$,其中 ΔH 为系统的内能, U 为测试电压, d 为植物叶片的比有效厚度;令 $x_0 = \frac{2\Delta H}{U^2}$, $h = \frac{2d}{U^2}$,所述变化方程可变形为 $C_p = x_0 + hF$;其中 x_0 和 h 为模型参数;

步骤七,构建植物叶片的生理阻抗随夹持力变化模型,获得模型的各个参数;植物叶片的生理阻抗随夹持力变化模型, $Z = \frac{I_0}{Q} + \frac{I_0}{Q} e^{\frac{n_z F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{d n_z F_0}{a R_0 T} F}$,该模型是基于能斯特方程 $E - E^0 = \frac{R_0 T}{n_z F_0} \ln \frac{Q_i}{Q_o}$ 推导出的,其中 Z 为阻抗, 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阻抗的介电物质浓度, Q_o 为细胞膜外响应生理阻抗的介电物质浓度, J_0 是细胞膜内响应生理阻抗的介电物质浓度 Q_i 与阻抗之间转化的比例系数,膜内外响应生理阻抗的介电物质总量 $Q = Q_i + Q_o$, F_0 是法拉第常数, n_z 是响应生理阻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; $E - E^0 = \frac{R_0 T}{n_z F_0} \ln \frac{Q_i}{Q_o}$ 可变形为: $\frac{V}{S} F = a E^0 - \frac{a R_0 T}{n_z F_0} \ln \frac{QZ - J_0}{J_0}$,进而变形为 $Z = \frac{I_0}{Q} + \frac{I_0}{Q} e^{\frac{n_z F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{V n_z F_0}{S a R_0 T} F}$,由于植物叶片的比有效厚度 $d = \frac{V}{S}$,因此, $Z = \frac{I_0}{Q} + \frac{I_0}{Q} e^{\frac{n_z F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{V n_z F_0}{S a R_0 T} F}$

可变形为: $Z = \frac{I_0}{Q} + \frac{I_0}{Q} e^{\frac{n_z F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{d n_z F_0}{a R_0 T} F}$,令 $y_0 = \frac{I_0}{Q}$, $k_1 = \frac{I_0}{Q} e^{\frac{n_z F_0 E^0}{R_0 T}}$, $b_1 = \frac{d n_z F_0}{a R_0 T}$,所述植物叶片的生理阻抗随夹持力变化模型可变形为 $Z = y_0 + k_1 e^{-b_1 F}$,其中 y_0 、 k_1 和 b_1 为模型的参数;

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;植物叶片的生理容抗随夹持力变化模型, $X_c = \frac{L_0}{X} + \frac{L_0}{X} e^{\frac{n_{XC} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{d n_{XC} F_0}{a R_0 T} F}$,该模型是基于能斯特方程 $E - E^0 = \frac{R_0 T}{n_{XC} F_0} \ln \frac{X_i}{X_o}$ 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, X_i 为细胞膜内响应生理容抗的介电物质浓度, X_o 为细胞膜外响应生理容抗的介电物质浓度, L_0 是细胞膜内响应生理容抗的介电物质浓度 X_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 $X = X_i + X_o$, 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; $E-E^0=\frac{R_0T}{n_{xc}F_0}\ln\frac{X_1}{X_0}$ 可变形为: $\frac{V}{S}F=aE^0-\frac{aR_0T}{n_{xc}F_0}\ln\frac{X_{xc}-L_0}{L_0}$,进而变形为 $X_{xc}=\frac{L_0}{X}+\frac{L_0}{X}e^{\frac{n_{xc}F_0E^0}{R_0T}}e^{(-\frac{Vn_{xc}F_0}{SaR_0T}F)}$,由于植物叶片的比有效厚度 $d=\frac{V}{S}$,因此, $X_{xc}=\frac{L_0}{X}+\frac{L_0}{X}e^{\frac{n_{xc}F_0E^0}{R_0T}}e^{(-\frac{Vn_{xc}F_0}{SaR_0T}F)}$ 可变形为: $X_{xc}=\frac{L_0}{X}+\frac{L_0}{X}e^{\frac{n_{xc}F_0E^0}{R_0T}}e^{(-\frac{d n_{xc}F_0}{aR_0T}F)}$,令 $p_0=\frac{L_0}{X}$ 、 $k_2=\frac{L_0}{X}e^{\frac{n_{xc}F_0E^0}{R_0T}}$ 、 $b_2=\frac{d n_{xc}F_0}{aR_0T}$,所述植物叶片的生理容抗随夹持力变化模型可变形为 $X_{c}=p_0+k_2 e^{-b_2F}$,其中 p_0 、 k_2 和 b_2 为模型的参数;

步骤九,依据步骤六模型中的参数,获取植物叶片的比有效厚度d;

步骤十,依据步骤七模型中的参数,获取植物叶片固有生理阻抗IZ;

步骤十一,依据步骤八模型中的参数,获取植物叶片固有生理容抗IXC;

步骤十二,依据固有生理容抗IXC计算固有生理电容ICP;

步骤十三,依据固有生理电容ICP计算叶片相对持水量RQwm;依据固有生理电容ICP计算叶片相对持水量RQwm的方法为: $RQwm=\sqrt{(ICP)^3}$;

步骤十四,依据植物叶片的比有效厚度d和叶片相对持水量RQwm计算待测叶片胞内水分利用效率WUEcp;

步骤十五,依据固有生理电容ICP和植物叶片固有生理阻抗IZ,获得基于电生理参数的植物相对持水时间RTwm;依据固有生理电容ICP和植物叶片固有生理阻抗IZ,获得基于电生理参数的植物相对持水时间RTwm的计算公式为: $RTwm=ICP\times IZ$;

步骤十六,依据叶片相对持水量RQwm和相对持水时间RTwm计算叶片导水速率VT。

2.根据权利要求1所述的一种定量植物胞内水分利用效率和相对持水时间的方法,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。

3.根据权利要求1所述的一种定量植物胞内水分利用效率和相对持水时间的方法,其特征在于:所述步骤五中,植物叶片生理容抗的计算公式: $X_c=\frac{1}{2\pi fC}$,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, π 是圆周率等于3.1416。

4.根据权利要求1所述的一种定量植物胞内水分利用效率和相对持水时间的方法,其特征在于:所述步骤九中,依据步骤六模型中的参数获取植物叶片的比有效厚度d的方法为:将 $h=\frac{2d}{U^2}$ 变形为 $d=\frac{U^2h}{2}$,再依据h和测试电压U,计算植物叶片的比有效厚度d。

5.根据权利要求1所述的一种定量植物胞内水分利用效率和相对持水时间的方法,其特征在于:所述步骤十中,依据步骤七模型中的参数获取植物叶片固有生理阻抗IZ的方法为: $IZ=y_0+k_1$;所述步骤十一中,依据步骤八模型中的参数获取植物叶片固有生理容抗IXC的方法为: $IXC=p_0+k_2$ 。

6.根据权利要求1所述的一种定量植物胞内水分利用效率和相对持水时间的方法,其

特征在于:所述步骤十二中,依据固有生理容抗IXC计算固有生理电容ICP的方法为:

$ICP = \frac{1}{2\pi fIXC}$,其中IXC为植物叶片固有生理容抗,ICP为固有生理电容,f为测试频率, π 是圆周率等于3.1416。

7.根据权利要求1所述的一种定量植物胞内水分利用效率和相对持水时间的方法,其特征在于:所述步骤十四中,依据植物叶片的比有效厚度d和叶片相对持水量RQ_{wm}计算待测

叶片胞内水分利用效率WUE_{cp}的方法为: $WUE_{cp} = \frac{d}{RQ_{wm}}$;所述步骤十六中,依据叶片相对持

水量RQ_{wm}和相对持水时间RT_{wm}计算叶片导水速率VT的计算公式为: $VT = \frac{RQ_{wm}}{RT_{wm}}$ 。

一种定量植物胞内水分利用效率和相对持水时间的方法

技术领域

[0001] 本发明属于农业工程和农作物信息检测技术领域,具体涉及一种定量植物胞内水分利用效率和相对持水时间的方法,不仅可以快速、在线定量检测不同环境下不同植物对水分的持有能力和供需能力,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对环境的适应特征,为作物精确灌溉和水管理提供科学依据。

背景技术

[0002] 水是原生质的主要成分,是物质吸收、运输的良好介质,它直接参与体内重要的代谢过程。植物的一切正常生命活动,都必须在水分相当饱和的情况下才能协调地进行,否则,正常生命活动就会受到破坏,甚至停止。由于绿色植物是自养型的,要维持正常的生命活动,就必须高效率地进行光合作用。为此,它必须发展大量的叶面积,充分地接受阳光,并且与周围环境不断地进行气体交换(吸收二氧化碳和释放氧气)。但由于大气的水势比植物体的水势低得多,所以,这接受阳光的表面必然成了水分蒸发的表面,气体交换的通道也是水蒸气散失的通道。因此,植物一方面通过根系不断地从环境中吸收水分,经过根、茎的运输分配到植物体的各部分,以满足正常生命活动的需要;另一方面植物体又不可避免地要丢失大量水分到环境中去,故植物体实际上是处于不断吸水和不断丢水的动态平衡之中。当植物吸水量补偿不了失水量时,常发生萎蔫现象,严重时可引起叶、花、果的脱落,甚至死亡。

[0003] 叶片是叶最重要的组成部分,多为薄的绿色扁平体,这种薄而扁平的形态,具有较大的表面积,能缩短叶肉细胞与叶表面的距离,起支持和输导作用的叶脉也处于网络状态。这些特征,有利于气体交换和光能的吸收,有利于水分、养料的输入以及光合产物的输出,是对光合作用和蒸腾作用的完善适应。叶片是对包括水分代谢在内的各种代谢最敏感的器官。叶片的水分状况对植物的生长发育起着至关重要的作用。因此叶片的持水时间、持水量以及叶片中的持水的利用效率对植物的水分代谢具有重要的意义。

[0004] 由于幼嫩的叶片占比小,因此成熟叶片在水分代谢中起着决定的作用。完全展开叶的叶片均是成熟的叶片,它们的细胞均具有中心液泡,在叶肉细胞里,液泡和细胞质占据了细胞内绝大部分空间,它们的吸水方式主要是渗透性吸水。无论是细胞还是细胞器,它们的外部均有细胞膜包被。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)。因此,细胞(器)可以看成是一个同心球的电容器,只不过这种电容器因膜上的外周蛋白质和内在蛋白质变得具有兼有电感器和电阻器作用的复杂电容器罢了。

[0005] 在植物细胞中有大小不同的液泡。成熟的植物细胞有一个很大的中央液泡,其一般占据细胞体积的30%,多者可达90%。而成熟的叶片细胞的液泡的体积一般在50%至90%。由于液泡是由一层单位膜围成,其中主要成分是水,而原生质的成分也主要是水,因

此,叶片细胞的体积基本上可以代表叶片的持水量。

[0006] LCR可以测定叶片的生理电容、生理阻抗,而电容与细胞的体积存在明显的关系,所以可以通过电容来表征细胞体积,而细胞(器)尤其是展开叶叶片的细胞(器),体积与持水量成正比,因此可以获得细胞的持水量。持水量支撑着植物细胞生长,代表着胞内水分利用效率(有别于通常意义上的植物水分利用效率,这里不考虑蒸腾作用与水分吸收同时的蒸腾作用)。随后,通过阻抗的测定可以获得持水时间和导水速率。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于提供一种定量植物胞内水分利用效率和相对持水时间的方法,不仅填补了用生物物理指标来表征植物对水分的持有能力和供需能力的空白,而且也填补了用生物物理指标表征不同环境下不同植物对环境的适应特征的空白,为植物胞内水分代谢的研究提供有效方法,为作物精确灌溉和水管理提供科学依据。

[0008] 为了解决以上技术问题,本发明采用的具体技术方案如下:

[0009] 一种定量植物胞内水分利用效率和相对持水时间的方法,包括以下步骤:

[0010] 一种定量植物胞内水分利用效率和相对持水时间的方法,其特征在于,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;

[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和生理阻抗;

[0015] 步骤五,根据植物叶片生理电容计算生理容抗;

[0016] 步骤六,构建植物叶片的生理电容随夹持力变化模型,获得模型的各个参数;

[0017] 步骤七,构建植物叶片的生理阻抗随夹持力变化模型,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,依据步骤六模型中的参数,获取植物叶片的比有效厚度d;

[0020] 步骤十,依据步骤七模型中的参数,获取植物叶片固有生理阻抗IZ;

[0021] 步骤十一,依据步骤八模型中的参数,获取植物叶片固有生理容抗IXC;

[0022] 步骤十二,依据固有生理容抗IXC计算固有生理电容ICP;

[0023] 步骤十三,依据固有生理电容ICP计算叶片相对持水量RQwm;

[0024] 步骤十四,依据植物叶片的比有效厚度d和叶片相对持水量RQwm计算待测叶片胞内水分利用效率WUEcp;

[0025] 步骤十五,依据固有生理电容ICP和植物叶片固有生理阻抗IZ,获得基于电生理参数的植物相对持水时间RTwm;

[0026] 步骤十六,依据叶片相对持水量RQwm和相对持水时间RTwm计算叶片导水速率VT。

[0027] 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。

[0028] 进一步,所述步骤五中,植物叶片生理容抗的计算公式: $X_c = \frac{1}{2\pi f C}$,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,不是圆周率等于3.1416。

[0029] 进一步,所述步骤六中,植物叶片的生理电容 C_p 随夹持力 F 变化方程为: $C_p = \frac{2\Delta H}{U^2} + \frac{2d}{U^2}F$,其中 ΔH 为系统的内能, U 为测试电压, d 为植物叶片的比有效厚度;令 $x_0 = \frac{2\Delta H}{U^2}$, $h = \frac{2d}{U^2}$,所述变化方程可变形为 $C_p = x_0 + hF$;其中 x_0 和 h 为模型参数。

[0030] 进一步,所述步骤七中,植物叶片的生理阻抗随夹持力变化模型, $Z = \frac{J_0}{Q} + \frac{J_0}{Q} e^{\frac{n_z F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{d n_z F_0 F}{a R_0 T}}$,该模型是基于能斯特方程 $E - E^0 = \frac{R_0 T}{n_z F_0} \ln \frac{Q_i}{Q_o}$ 推导出的,其中 Z 为阻抗, 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阻抗的介电物质浓度, Q_o 为细胞膜外响应生理阻抗的介电物质浓度, J_0 是细胞膜内响应生理阻抗的介电物质浓度 Q_i 与阻抗之间转化的比例系数,膜内外响应生理阻抗的介电物质总量 $Q = Q_i + Q_o$, F_0 是法拉第常数, n_z 是响应生理阻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;

$E - E^0 = \frac{R_0 T}{n_z F_0} \ln \frac{Q_i}{Q_o}$ 可变形为: $\frac{V}{S}F = aE^0 - \frac{a R_0 T}{n_z F_0} \ln \frac{QZ - J_0}{J_0}$,进而变形为 $Z = \frac{J_0}{Q} + \frac{J_0}{Q} e^{\frac{n_z F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{V n_z F_0 F}{S a R_0 T}}$,由于

植物叶片的比有效厚度 $d = \frac{V}{S}$,因此, $Z = \frac{J_0}{Q} + \frac{J_0}{Q} e^{\frac{n_z F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{V n_z F_0 F}{S a R_0 T}}$ 可变形为: $Z = \frac{J_0}{Q} + \frac{J_0}{Q} e^{\frac{n_z F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{d n_z F_0 F}{a R_0 T}}$,

令 $y_0 = \frac{J_0}{Q}$, $k_1 = \frac{J_0}{Q} e^{\frac{n_z F_0 E^0}{R_0 T}}$ 、 $b_1 = \frac{d n_z F_0}{a R_0 T}$,所述植物叶片的生理阻抗随夹持力变化模型可变形为

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

[0031] 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, $X_c = \frac{L_0}{X} +$

$\frac{L_0}{X} e^{\frac{n_{xc} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{d n_{xc} F_0 F}{a R_0 T}}$,该模型是基于能斯特方程 $E - E^0 = \frac{R_0 T}{n_{xc} F_0} \ln \frac{X_i}{X_o}$ 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, X_i 为细胞膜内响应生理容抗的介电物质浓度, X_o 为细胞膜外响应生理容抗的介电物质浓度, L_0 是细胞膜内响应生理容抗的介电物质浓度 X_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 $X = X_i + X_o$, 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;

$E - E^0 = \frac{R_0 T}{n_{xc} F_0} \ln \frac{X_i}{X_o}$ 可变形为: $\frac{V}{S}F = aE^0 - \frac{a R_0 T}{n_{xc} F_0} \ln \frac{X X_c - L_0}{L_0}$,进而变形为 $X_c = \frac{L_0}{X} + \frac{L_0}{X} e^{\frac{n_{xc} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{V n_{xc} F_0 F}{S a R_0 T}}$,

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

$X_c = \frac{L_0}{X} + \frac{L_0}{X} e^{\frac{n_{xc} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{d n_{xc} F_0 F}{a R_0 T}}$,令 $p_0 = \frac{L_0}{X}$ 、 $k_2 = \frac{L_0}{X} e^{\frac{n_{xc} F_0 E^0}{R_0 T}}$ 、 $b_2 = \frac{d n_{xc} F_0}{a R_0 T}$,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。

[0032] 进一步,所述步骤九中,依据步骤六模型中的参数获取植物叶片的比有效厚度d的方法为:将权利要求6中所述的 $h = \frac{2d}{U^2}$ 变形为 $d = \frac{U^2 h}{2}$,再依据h和测试电压U,计算植物叶片的比有效厚度d。

[0033] 进一步,所述步骤十中,依据步骤七模型中的参数获取植物叶片固有生理阻抗IZ的方法为: $IZ = y_0 + k_1$ 。

[0034] 进一步,所述步骤十一中,依据步骤八模型中的参数获取植物叶片固有生理容抗IXC的方法为: $IXC = p_0 + k_2$ 。

[0035] 进一步,所述步骤十二中,依据固有生理容抗IXC计算固有生理电容ICP的方法为:

$ICP = \frac{1}{2\pi f IXC}$,其中IXC为植物叶片固有生理容抗,ICP为固有生理电容,f为测试频率, π 是圆周率等于3.1416。

[0036] 进一步,所述步骤十三中,所述步骤十三中,依据固有生理电容ICP计算叶片相对持水量RQwm的方法为: $RQwm = \sqrt{(ICP)^3}$ 。

[0037] 进一步,所述步骤十四中,依据植物叶片的比有效厚度d和叶片相对持水量RQwm计算待测叶片胞内水分利用效率WUEcp的方法为: $WUEcp = \frac{d}{RQwm}$ 。

[0038] 进一步,所述步骤十五中,依据固有生理电容ICP和植物叶片固有生理阻抗IZ,获得基于电生理参数的植物相对持水时间RTwm的计算公式为: $RTwm = ICP \times IZ$ 。

[0039] 进一步,所述步骤十六中,依据叶片相对持水量RQwm和相对持水时间RTwm计算叶片导水速率VT的计算公式为: $VT = \frac{RQwm}{RTwm}$ 。

[0040] 本发明具有有益效果:

[0041] 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的比有效厚度、植物叶片固有生理阻抗、固有生理容抗、固有生理电容、叶片相对持水量、叶片胞内水分利用效率、植物相对持水时间以及叶片导水速率,测定的结果不因测定条件的变化而变化,具有可比性。

[0042] 2.本发明通过定量测定叶片相对持水量以及叶片导水速率,用电生理指标表征了不同植物对水分的持有能力和供需能力。

[0043] 3.本发明通过测定叶片胞内水分利用效率、植物相对持水时间,用电生理指标表征不同环境下不同植物对环境的适应特征,为植物胞内水分代谢的研究提供有效方法,为作物精确灌溉和水管理提供科学依据。

[0044] 4.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为本发明中测定装置的结构示意图;

[0046] 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

[0047] 下面结合附图与实施例对本发明作进一步说明。

[0048] 本发明的基本原理为:

[0049] 由重力学公式:

$$[0050] \quad F = (M+m)g \quad (1)$$

[0051] 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。

[0052] 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和阻抗等电生理指标。

[0053] 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, π 是圆周率等于3.1416。

[0054] 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,不同植物生理电容是不同的。

[0055] 吉布斯自由能方程表达为 $\Delta G = \Delta H + PV$, 电容器的能量公式表达为 $W = \frac{1}{2}U^2C$, W为电容器的能量,等于吉布斯自由能 ΔG 转化的功,即 $W = \Delta G$; ΔH 为系统(由细胞组成的植物叶片系统)的内能,P为植物细胞受到的压强,V为植物细胞体积,U为测试电压,C为植物叶片的生理电容;

[0056] 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;

[0057] 植物叶片的生理电容C随夹持力F变化模型:

$$[0058] \quad C = \frac{2\Delta H}{U^2} + \frac{2V}{SU^2}F \quad (2)$$

[0059] 假定以d代表植物叶片的比有效厚度,则 $d = \frac{V}{S}$; (2) 式可变形为:

$$[0060] \quad C = \frac{2\Delta H}{U^2} + \frac{2d}{U^2}F \quad (3)$$

[0061] 令 $x_0 = \frac{2\Delta H}{U^2}$, $h = \frac{2d}{U^2}$, (3) 式可变形为:

$$[0062] \quad C = x_0 + hF \quad (4)$$

[0063] (4) 式是一个线性模型,其中 x_0 和 h 为模型参数。

[0064] 由于 $h = \frac{2d}{U^2}$, 因此 $d = \frac{U^2h}{2}$ 。

[0065] 同一对象在同一环境下的阻抗测定中,阻抗大小主要取决于膜内外响应生理阻抗的介电物质浓度,所以膜对各种响应生理阻抗的介电物质的通透性大小以及含水量决定了细胞阻抗大小,而对于叶片来说,阻抗则更是取决于膜内外响应生理阻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阻抗的介电物质的浓度,而膜内外响应生理阻抗的介电物质的浓度差也服从能斯特(Nernst)方程,在膜外响应生理阻抗的介电物质的浓度一定时,生理阻抗则与细胞内响应生理阻抗的介电物质的浓度成反

比,由此可推导出,细胞的生理阻抗也与外界激励的关系。

[0066] 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阻抗的介电物质的通透性发生不同的改变,因此其生理阻抗是不同的。

[0067] 能斯特方程的表达式如(5)式:

$$[0068] \quad E - E^0 = \frac{R_0 T}{n_z F_0} \ln \frac{Q_i}{Q_o} \quad (5)$$

[0069] 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阻抗的介电物质浓度, Q_o 为细胞膜外响应生理阻抗的介电物质浓度,膜内外响应生理阻抗的介电物质总量 $Q = Q_i + Q_o$, F_0 是法拉第常数,等于 $96485 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$; n_z 是响应生理阻抗的介电物质转移数,单位 mol 。

[0070] 电动势 E 的内能可转化成压力做功,与 PV 成正比 $PV = aE$,即:

$$[0071] \quad PV = aE = aE^0 + \frac{a R_0 T}{n_z F_0} \ln \frac{Q_i}{Q_o} \quad (6)$$

[0072] 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;

[0073] 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;

[0074] 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阻抗的介电物质总量 Q , Q_i 则与响应生理阻抗的介电物质电导率成正比,而响应生理阻抗的介电物质电导率为阻抗 Z 的倒数,因此, $\frac{Q_i}{Q_o}$ 可表达成

$$\frac{Q_i}{Q_o} = \frac{\frac{J_0}{Z}}{Q - \frac{J_0}{Z}} = \frac{J_0}{QZ - J_0}, Z \text{ 为阻抗, } J_0 \text{ 是细胞膜内响应生理阻抗的介电物质浓度 } Q_i \text{ 与阻抗之间转化}$$

的比例系数,因此,(6)可变成:

$$[0075] \quad \frac{V}{S} F = aE^0 - \frac{a R_0 T}{n_z F_0} \ln \frac{QZ - J_0}{J_0} \quad (7)$$

[0076] (7)式变形,得

$$[0077] \quad \frac{a R_0 T}{n_z F_0} \ln \frac{QZ - J_0}{J_0} = aE^0 - \frac{V}{S} F \quad (8)$$

$$[0078] \quad (8) \text{ 可变成: } \ln \frac{QZ - J_0}{J_0} = \frac{n_z F_0 E^0}{R_0 T} - \frac{V n_z F_0}{S a R_0 T} F \quad (9)$$

[0079] (9)式两边取指数,可变成:

$$[0080] \quad \frac{QZ - J_0}{J_0} = e^{\frac{n_z F_0 E^0}{R_0 T}} e^{\left(-\frac{V n_z F_0}{S a R_0 T} F\right)} \quad (10)$$

[0081] 进一步变形,可得:

$$[0082] \quad Z = \frac{J_0}{Q} + \frac{J_0}{Q} e^{\frac{n_z F_0 E^0}{R_0 T}} e^{\left(-\frac{V n_z F_0}{S a R_0 T} F\right)} \quad (11)$$

[0083] 式(11)中 Z 为生理阻抗,由于 $d = \frac{V}{S}$, (11)式可变形为:

$$[0084] \quad Z = \frac{J_0}{Q} + \frac{J_0}{Q} e^{\frac{nZF_0E^0}{R_0T}} e^{-\frac{d nZF_0F}{a R_0T}} \quad (12)$$

[0085] 对于同一个待测叶片在同一环境下, (12) 式中 d 、 a 、 E^0 、 R_0 、 T 、 n_z 、 F_0 、 Q 、 J_0 都为定值, 令 $y_0 = \frac{J_0}{Q}$ 、 $k_1 = \frac{J_0}{Q} e^{\frac{nZF_0E^0}{R_0T}}$ 、 $b_1 = \frac{d nZF_0}{a R_0T}$, 因此 (12) 式可变形为:

$$[0086] \quad Z = y_0 + k_1 e^{-b_1 F} \quad (13)$$

[0087] (13) 式中 y_0 、 k_1 和 b_1 为模型的参数。当 $F=0$ 代入到 (13) 式时, 此时得到植物叶片固有生理阻抗 I_Z : $I_Z = y_0 + k_1$ 。

[0088] 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。

[0089] 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。

[0090] 能斯特方程的表达式如 (14) 式:

$$[0091] \quad E - E^0 = \frac{R_0 T}{n_{XC} F_0} \ln \frac{X_i}{X_o} \quad (14)$$

[0092] 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 ; X_i 为细胞膜内响应生理容抗的介电物质浓度, X_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 $X = X_i + X_o$, F_0 是法拉第常数, 等于 $96485 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$; n_{XC} 是响应生理容抗的介电物质转移数, 单位 mol 。

[0093] 电动势 E 的内能可转化成压力做功, 与 PV 成正比 $PV = aE$, 即:

$$[0094] \quad PV = aE = aE^0 + \frac{a R_0 T}{n_{XC} F_0} \ln \frac{X_i}{X_o} \quad (15)$$

[0095] 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;

[0096] 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;

[0097] 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, X_o 与 X_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 X , X_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, $\frac{X_i}{X_o}$ 可表达成

$$\frac{X_i}{X_o} = \frac{\frac{L_0}{X_c}}{X - \frac{L_0}{X_c}} = \frac{L_0}{X X_c - L_0}, \quad X_c \text{ 为容抗, } L_0 \text{ 是细胞膜内响应生理容抗的介电物质浓度 } X_i \text{ 与生理容抗之}$$

间转化的比例系数, 因此, (15) 可变成:

$$[0098] \quad \frac{V}{S}F = a E^0 - \frac{a R_0 T}{n_{XC} F_0} \ln \frac{X X_c - L_0}{L_0} \quad (16)$$

[0099] (16)式变形,得

$$[0100] \quad \frac{a R_0 T}{n_{XC} F_0} \ln \frac{X X_c - L_0}{L_0} = a E^0 - \frac{V}{S}F \quad (17)$$

$$[0101] \quad (17) \text{可变成: } \ln \frac{X X_c - L_0}{L_0} = \frac{n_{XC} F_0 E^0}{R_0 T} - \frac{V n_{XC} F_0}{S a R_0 T} F \quad (18)$$

[0102] (18)式两边取指数,可变成:

$$[0103] \quad \frac{X X_c - L_0}{L_0} = e^{\frac{n_{XC} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{V n_{XC} F_0}{S a R_0 T} F} \quad (19)$$

[0104] 进一步变形,可得:

$$[0105] \quad X_c = \frac{L_0}{X} + \frac{L_0}{X} e^{\frac{n_{XC} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{V n_{XC} F_0}{S a R_0 T} F} \quad (20)$$

[0106] 式(20)中 X_c 为生理容抗,由于植物叶片的比有效厚度 $d = \frac{V}{S}$, (20)式可变形为:

$$[0107] \quad X_c = \frac{L_0}{X} + \frac{L_0}{X} e^{\frac{n_{XC} F_0 E^0}{R_0 T}} e^{-\frac{d n_{XC} F_0}{a R_0 T} F} \quad (21)$$

[0108] 对于同一个待测叶片在同一环境下, (21)式中 d 、 a 、 E^0 、 R_0 、 T 、 n_{XC} 、 F_0 、 X 、 L_0 都为定值,令 $p_0 = \frac{L_0}{X}$ 、 $k_2 = \frac{L_0}{X} e^{\frac{n_{XC} F_0 E^0}{R_0 T}}$ 、 $b_2 = \frac{d n_{XC} F_0}{a R_0 T}$, 因此(21)式可变形为:

$$[0109] \quad X_c = p_0 + k_2 e^{-b_2 F} \quad (22)$$

[0110] (22)式中 p_0 、 k_2 和 b_2 为模型的参数。当 $F=0$ 代入到(22)式时,此时得到植物叶片固有生理容抗 IXC : $IXC = p_0 + k_2$,把此时植物叶片固有生理容抗 IXC 换算成的电容则为固有生理电容 ICP 。固有生理容抗换算成固有生理电容的公式为: $ICP = \frac{1}{2\pi f IXC}$, 其中 IXC 为植物叶片固有生理容抗, ICP 为固有生理电容, f 为测试频率, π 是圆周率等于3.1416。

[0111] 由于细胞(器)是球形结构,细胞的生长和体积的增长紧密相关,同一种植物器官尤其是叶片,细胞的体积与其内的液胞体积大小成正相关,而液胞的主要成分则是水分。而植物细胞的电容可借用同心球形电容器的计算公式:

$$[0112] \quad C = \frac{4\pi\epsilon R_1 R_2}{R_2 - R_1} \quad (23)$$

[0113] 这里, π 是圆周率等于3.1416, C 为同心球形电容器的电容, ϵ 为电解质的介电常数, R_1 、 R_2 分别为外球和内球的半径。在细胞(器)中, $R_2 - R_1$ 可作为膜的厚度, $R_1 \approx R_2$,同一植物组织和器官的同一类细胞(器),膜的厚度一定, ϵ 一定,因此细胞(器)的体积就与细胞的电容 C 存在以下关系:

$$[0114] \quad V_c = \alpha \sqrt{C^3} \quad (24)$$

[0115] (24)式中,同一植物组织和器官的同一类细胞(器) α 一定,又由于细胞(器)尤其是展开叶叶片的细胞(器),体积与持水量成正比,也即细胞的持水量与 $\sqrt{C^3}$ 成正比,因此,可以用 $\sqrt{C^3}$ 表征植物叶片的持水量,依据固有生理电容 ICP 计算叶片相对持水量 RQ_{wm} 的方法则

为： $RQ_{wm} = \sqrt{(ICP)^3}$ 。

[0116] 植物叶片的比有效厚度 d ，代表细胞的生长，持水量 RQ_{wm} 支撑植物细胞生长 d ，则可表征为叶片胞内水分利用效率 WUE_{cp} ，计算方法则为： $WUE_{cp} = \frac{d}{RQ_{wm}}$ 。

[0117] 依据欧姆定律可知：电流 $I_z = U/Z$ ，这里 U 为测定电压， I_z 为生理电流。 Z 为阻抗；同时，电流又等于电容乘以电压在时间上的微分，经过积分变换，时间 t 则是电容量与阻抗的乘积，因此依据固有生理电容 ICP 和植物叶片固有生理阻抗 I_z ，获得基于电生理参数的植物相对持水时间 RT_{wm} 的计算公式则为： $RT_{wm} = ICP \times I_z$ 。依据叶片相对持水量 RQ_{wm} 和相对持水时间 RT_{wm} ，则可以计算出叶片导水速率 VT ，它的计算公式为： $VT = \frac{RQ_{wm}}{RT_{wm}}$ 。

[0118] 一种定量植物胞内水分利用效率和相对持水时间的方法的测定装置，如图1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（HIOKI 3532-50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。

[0119] 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阻抗和生理电容。

[0120] 实施例1两种生境下（生境较好的以及中度石漠化环境下）生长的构树不同叶位叶片胞内水分利用效率和相对持水时间的比较（注： G_1-2 、 G_1-3 、 G_1-4 、 G_1-5 代表生长在生境较好的构树植株第二叶位、第三叶位、第四叶位以及第五叶位叶片， G_2-2 、 G_2-3 、 G_2-4 、 G_2-5 代表生长在石漠化环境下的构树植株第二叶位、第三叶位、第四叶位以及第五叶位叶片）

[0121] 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两种生境下（生境较好的以及中度石漠化环境下）构树新鲜枝条，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第二展开叶至第五展开叶作为待测叶片，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和生理阻抗；以生长在生境较好的构树植株第二叶位的叶片 G_1-2 为例，说明本发明的实施过程。构树不同夹持力下叶片的生理电容、生理阻抗如表1，依据表1的数据计算生理容抗如表1，依据表1的生理电容数据构建植物叶片的生理电容 C 随夹持力 F 变化模型、生理阻抗数据构建植物叶片的生理阻抗随夹持力变化模型以及生理容抗的数据构建植物叶片的生理容抗随夹持力变化模型如表2。依据表2的各种模型获取植物叶片的比有效厚度 d 、植物叶片固有生理阻抗 I_z 、固有生理容抗 IXC ，依据固有生理容抗 IXC 获取固有生理电容 ICP ，依据固有生理电容 ICP 获取叶片相对持水量 RQ_{wm} ，依据植物叶片的比有效厚度 d 和叶片相对持水量 RQ_{wm} 计算待测叶片胞内水分利用效率 WUE_{cp} ，依据固有生理电容 ICP 和植物叶

片固有生理阻抗 I_Z 获得基于电生理参数的植物相对持水时间 RT_{wm} ;依据叶片相对持水量 RQ_{wm} 和相对持水时间 RT_{wm} 计算叶片导水速率 V_T ,如表3。同样的步骤和方法,获取两种生境下(生境较好的以及中度石漠化环境下)生长的构树不同叶位(G_1-2 、 G_1-3 、 G_1-4 、 G_1-5 以及 G_2-2 、 G_2-3 、 G_2-4 、 G_2-5)叶片胞内水分利用效率和相对持水时间如表4。

[0122] 表1不同夹持力(F,单位N)下构树叶片的生理电容(C_p ,pF)、生理阻抗(Z , $M\Omega$)以及生理容抗(X_c , $M\Omega$)

F	C_p	Z	X_c	F	C_p	Z	X_c
1.1387	188.00	0.1890	0.2822	4.2115	570.00	0.0596	0.0931
1.1387	192.00	0.1840	0.2763	4.2115	570.00	0.0597	0.0931
1.1387	199.00	0.1760	0.2666	4.2115	570.00	0.0596	0.0931
1.1387	202.00	0.1740	0.2626	4.2115	571.00	0.0595	0.0929
1.1387	203.00	0.1730	0.2613	5.2448	621.00	0.0544	0.0854
1.1387	205.00	0.1710	0.2588	5.2448	622.00	0.0543	0.0853
1.1387	213.00	0.1640	0.2491	5.2448	623.00	0.0543	0.0852
1.1387	218.00	0.1610	0.2434	5.2448	628.00	0.0541	0.0845
1.1387	226.00	0.1540	0.2347	5.2448	633.00	0.0538	0.0838
1.1387	230.00	0.1520	0.2307	5.2448	636.00	0.0536	0.0834
1.1387	232.00	0.1510	0.2287	5.2448	641.00	0.0532	0.0828
2.1490	387.00	0.0853	0.1371	5.2448	649.00	0.0526	0.0817
2.1490	391.00	0.0844	0.1357	5.2448	655.00	0.0522	0.0810
2.1490	394.00	0.0837	0.1346	5.2448	657.00	0.0521	0.0807
2.1490	396.00	0.0832	0.1340	5.2448	660.00	0.0519	0.0804

2.1490	399.00	0.0827	0.1330	6.2624	717.00	0.0481	0.0740
2.1490	401.00	0.0822	0.1323	6.2624	719.00	0.0480	0.0738
2.1490	403.00	0.0819	0.1316	6.2624	720.00	0.0480	0.0737
2.1490	404.00	0.0816	0.1313	6.2624	721.00	0.0479	0.0736
2.1490	406.00	0.0812	0.1307	6.2624	722.00	0.0478	0.0735
2.1490	408.00	0.0808	0.1300	6.2624	723.00	0.0478	0.0734
2.1490	410.00	0.0803	0.1294	6.2624	724.00	0.0477	0.0733
3.1783	484.00	0.0696	0.1096	6.2624	725.00	0.0477	0.0732
3.1783	485.00	0.0694	0.1094	6.2624	727.00	0.0476	0.0730
3.1783	488.00	0.0691	0.1087	6.2624	728.00	0.0475	0.0729
3.1783	489.00	0.0688	0.1085	6.2624	729.00	0.0475	0.0728
3.1783	493.00	0.0681	0.1076	6.2620	731.00	0.0474	0.0726
3.1783	494.00	0.0679	0.1074	6.2620	731.00	0.0474	0.0726
3.1783	495.00	0.0677	0.1072	7.3109	837.00	0.0420	0.0634
3.1783	496.00	0.0676	0.1070	7.3109	839.00	0.0419	0.0632
3.1783	496.00	0.0675	0.1070	7.3109	841.00	0.0419	0.0631
3.1783	497.00	0.0674	0.1067	7.3109	842.00	0.0418	0.0630
3.1783	498.00	0.0674	0.1065	7.3109	843.00	0.0418	0.0629
3.1780	498.00	0.0672	0.1065	7.3109	843.00	0.0417	0.0629
4.2115	565.00	0.0600	0.0939	7.3109	844.00	0.0417	0.0629
4.2115	566.00	0.0599	0.0937	7.3109	845.00	0.0417	0.0628
4.2115	567.00	0.0598	0.0936	7.3109	845.00	0.0417	0.0628
4.2115	567.00	0.0598	0.0936	7.3109	846.00	0.0416	0.0627
4.2115	568.00	0.0597	0.0934	7.3109	846.00	0.0416	0.0627
4.2115	569.00	0.0597	0.0932	7.3109	847.00	0.0416	0.0626
4.2115	569.00	0.0596	0.0932				

[0125] 表2构树的生理电容 (C_p) 随夹持力 (F) 变化模型 (C_p - F)、生理阻抗 (Z) 随夹持力 (F) 变化模型 (Z - F) 及生理容抗 (X_c) 随夹持力 (F) 变化模型 (X_c - F) 及参数

模型 I 类型	$x_0/y_0/p_0$ (SE)	$h/k_1/k_2$ (SE)	$/b_1/b_2$ (SE)	方程
Cp-F	161.3176 (8.2835)	93.1470 (1.7403)		$C_p=161.3176+93.1470 F$ $R^2=0.9732, P<0.0001, n=81$
Z-F	0.0490 (0.0012)	0.3992 (0.0259)	1.0717 (0.0550)	$Z=0.0490+0.3992e^{-1.0717F}$ $R^2=0.9705, P<0.0001, n=81$
Xc-F	0.0736 (0.0019)	0.5111 (0.0277)	0.9261 (0.0456)	$X_c=0.0736+0.5111e^{-0.9261F}$ $R^2=0.9718, P<0.0001, n=81$

[0127] 表3构树植物叶片的比有效厚度 d 、植物叶片固有生理阻抗 I_Z 、固有生理容抗 I_{Xc} 、固有生理电容 I_{Cp} 、叶片相对持水量 RQ_{wm} 、叶片胞内水分利用效率 WUE_{cp} 、植物相对持水时间 RT_{wm} 以及叶片导水速率 VT

指标	d	$I_Z (M\Omega)$	$I_{Xc} (M\Omega)$	$I_{Cp} (pF)$	RQ_{wm}	WUE_{cp}	RT_{wm}	VT
数值	104.7904	0.4482	0.5847	90.73	864.22	0.1213	40.67	21.25

[0129] 表4两种生境下(生境较好的以及中度石漠化环境下)生长的构树不同叶位 (G_1 -2、 G_1 -3、 G_1 -4、 G_1 -5以及 G_2 -2、 G_2 -3、 G_2 -4、 G_2 -5) 植物叶片的比有效厚度 d 、植物叶片固有生理阻抗 I_Z 、固有生理容抗 I_{Xc} 、固有生理电容 I_{Cp} 、叶片相对持水量 RQ_{wm} 、叶片胞内水分利用效率 WUE_{cp} 、植物相对持水时间 RT_{wm} 以及叶片导水速率 VT

叶片	d	$I_Z (M\Omega)$	$I_{Xc} (M\Omega)$	$I_{Cp} (pF)$	RQ_{wm}	WUE_{cp}	RT_{wm}	VT
G_1 -2	104.7904	0.4482	0.5847	90.73	864.22	0.1213	40.67	21.25
G_1 -3	40.6207	0.3855	0.7014	75.64	657.85	0.0617	29.16	22.56
G_1 -4	140.4836	0.1959	0.2798	189.61	2610.91	0.0538	37.14	70.30
G_1 -5	107.5951	0.1301	0.2668	198.84	2803.86	0.0384	25.87	108.38
G_2 -2	1.8930	6.6989	6.4835	8.18	23.40	0.0809	54.80	0.43
G_2 -3	0.9407	7.5424	7.1370	7.43	20.25	0.0464	56.04	0.36
G_2 -4	0.9542	8.0947	7.7769	6.82	17.81	0.0536	55.21	0.32
G_2 -5	0.8393	7.4540	7.2246	7.34	19.89	0.0422	54.71	0.36

[0131] 实施例2同一生境下辣椒和马铃薯不同叶位叶片胞内水分利用效率和相对持水时间的比较(注:T-1、T-2、T-3分别代表马铃薯植株第二叶位、第三叶位以及第四叶位,品种:费乌瑞它;P-1、P-2、P-3分别代表辣椒植株第二叶位、第三叶位以及第四叶位,品种:8226)

[0132] 在贵阳清镇农职院试验场采摘辣椒和马铃薯植株,迅速返回实验室,清理所述植株上叶片的表面灰尘后,从植株上分别一一采集第二展开叶至第四展开叶作为待测叶片,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和生理阻抗;利用本发明,与实施例1同样操作。依据生理电容

的数据计算生理容抗,依据生理电容的数据构建植物叶片的生理电容C随夹持力F变化模型,依据生理阻抗数据构建植物叶片的生理阻抗随夹持力变化模型,依据生理容抗的数据构建植物叶片的生理容抗随夹持力变化模型。依据上述各种模型获取植物叶片的比有效厚度d、植物叶片固有生理阻抗IZ、固有生理容抗IXC,依据固有生理容抗IXC获取固有生理电容ICP,依据固有生理电容ICP获取叶片相对持水量RQwm,依据植物叶片的比有效厚度d和叶片相对持水量RQwm计算待测叶片胞内水分利用效率WUEcp,依据固有生理电容ICP和植物叶片固有生理阻抗IZ获得基于电生理参数的植物相对持水时间RTwm;依据叶片相对持水量RQwm和相对持水时间RTwm计算叶片导水速率VT,如表5。

[0133] 表5同一生境下辣椒和马铃薯不同叶位叶片(T-1、T-2、T-3以及P-1、P-2、P-3)植物叶片的比有效厚度d、植物叶片固有生理阻抗IZ、固有生理容抗IXC、固有生理电容ICP、叶片相对持水量RQwm、叶片胞内水分利用效率WUEcp、植物相对持水时间RTwm以及叶片导水速率VT

叶片	d	IZ(MΩ)	IXC(MΩ)	ICP (pF)	RQwm	WUEcp	RTwm	VT
T-2	483.0525	0.2389	0.3504	151.40	1862.88	0.2593	36.17	51.50
T-3	290.5425	0.2010	0.2732	194.18	2705.79	0.1074	39.02	69.34
T-4	366.3225	0.1349	0.1892	280.40	4695.45	0.0780	37.84	124.10
P-2	69.9908	1.1648	1.4102	37.62	230.74	0.3033	43.82	5.27
P-3	79.4351	1.4488	1.5106	35.12	208.12	0.3817	50.88	4.09
P-4	89.9674	0.9199	1.0363	51.19	366.30	0.2456	47.10	7.78

[0135] 本发明的实施效果如下:

[0136] 从表4中可以看出,两种生境下生长的构树叶片的相对持水量RQwm以及叶片导水速率VT差异显著。生长在较好的生境的构树叶片的相对持水量RQwm以及叶片导水速率VT都很高,而生长在中度石漠化生境的构树却具有较低的叶片相对持水量RQwm以及叶片导水速率VT,这表明较好的生境生长的构树叶片水分状况良好,导水速率大,生长快;但是生长在中度石漠化生境的构树,因其水分状况差,通过降低导水速率,维持其叶片器官的供水时间(持水时间),这与实际是相符的,是植物适应环境的重要机制。此外,虽然生长在中度石漠化生境的构树叶片本身的水分利用效率显著高于生长环境好的(通过减少蒸腾作用实现的),但是胞内水分利用效率差异不大,这说明胞内水的代谢效率,同种植物差异不大,也为植物胞内水分代谢的研究提供有效方法。

[0137] 从表5中可以看出,同一生境下辣椒和马铃薯叶片的相对持水量RQwm以及叶片导水速率VT差异显著。马铃薯叶片的相对持水量RQwm以及叶片导水速率VT都很高,而辣椒却具有相对较低的叶片相对持水量RQwm以及叶片导水速率VT,这表明马铃薯叶片水分状况良好,导水速率大,生长快;但是辣椒因其水分状况差,通过降低导水速率,维持其叶片器官的供水时间(持水时间),这与实际是相符的,同样也表明不同植物具有不同的对水分状况的适应机制和策略。此外,从表5中还可以看出,不同物种的胞内水分利用效率差异较大,辣椒具有较高的胞内水分利用效率,而马铃薯具有较低的胞内水分利用效率;总体上看,辣椒是以

生长相对缓慢、胞内水分利用效率高、导水速率低来应对较差的水分状况,而马铃薯因生长速度快在水分较好的生长季节完成生长发育来适应环境的,通过本发明可以看出不同植物对环境有着不同的适应机制。

[0138] 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。

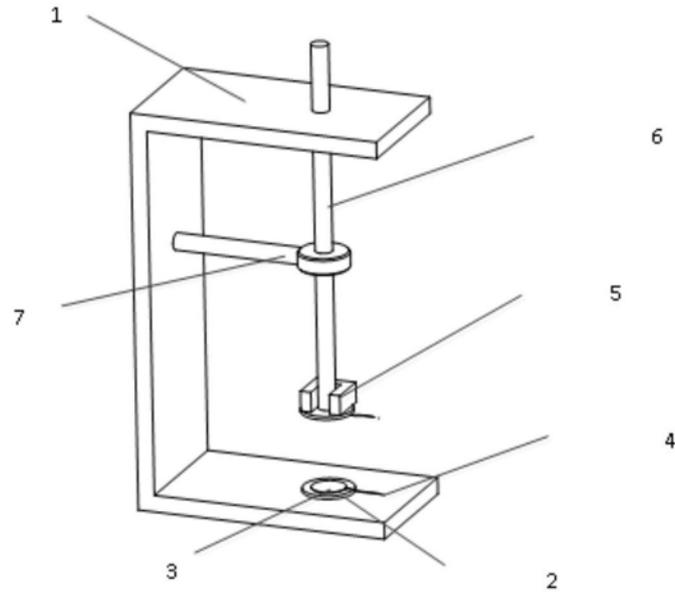


图1