



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101953299 B

(45) 授权公告日 2012. 12. 12

(21) 申请号 201010263654. 5

(22) 申请日 2010. 08. 26

(73) 专利权人 中国科学院地球化学研究所
地址 550002 贵州省贵阳市观水路 46 号

(72) 发明人 吴沿友 鲁珊 朱咏莉 赵宽
刘莹 刘丛强 王宝利

(74) 专利代理机构 贵阳中新专利商标事务所
52100

代理人 吴无惧

(51) Int. Cl.

G01N 21/64 (2006. 01)

A01H 4/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

李晓, 等. 叶绿素荧光分析技术及应用进展. 《西北植物学报》. 2006, 第 26 卷 (第 10 期), 2186-2196.

张阿宏, 等. 调制叶绿素荧光动力学参数及其计量关系的意义和公理化讨论. 《核农学报》. 2008, 第 22 卷 (第 6 期), 909-912.

左克锐. 杂交鹅掌楸无性系苗期光合特性研究. 《中国优秀硕士学位论文全文数据库(农业科技辑)》. 2010, (第 2 期), 19-39.

审查员 王颖

权利要求书 1 页 说明书 6 页

(54) 发明名称

测定植物组培苗光合能力的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种测定植物组培苗光合能力的方法, 它包含以下步骤: 第一, 将含有组培苗的组培瓶, 经过暗适应后, 使组培苗的叶片暴露在调制荧光成像系统的探头探测的范围内; 第二, 获取叶绿素荧光图像, 从荧光图像上选点记录组培苗叶片的基础叶绿素荧光信息; 第三, 测定该组培苗叶片的表观荧光动力学参数, 获取叶绿素荧光参数值; 第四, 测定同质组培瓶相同位置对荧光的透过率; 第五, 根据测定的组培瓶对荧光的透过率, 将通过组培瓶观察的表观叶绿素荧光参数换算成无组培瓶阻挡荧光通过的组培苗实际叶绿素荧光参数, 这些参数即表征该组培苗的光合能力。本发明能在线、无菌、动态、快速测定组培苗自养能力, 为比较不同的组培苗的自养能力提供依据。

1. 一种测定植物组培苗光合能力的方法,其特征在于:它包含以下步骤:第一,将含有组培苗的组培瓶,经过暗适应后,使组培苗的叶片暴露在调制荧光成像系统的探头探测的范围内;第二,获取叶绿素荧光图像,从荧光图像上选点记录组培苗叶片的基础叶绿素荧光信息,此时记录的组培苗叶片的基础叶绿素荧光信息即为表观基础叶绿素荧光信息,它们包括表观基础荧光 F_0 、表观最大荧光 F_m 以及 PS II 的最大量子产量 F_v/F_m 的信息;第三,测定该组培苗叶片的表观荧光动力学参数,获取叶绿素荧光参数值,这些表观荧光动力学参数包括表观 PS II 的实际量子产量 $\Phi_{PS II}$ 、表观光化学淬灭系数 q_P 、表观非光化学淬灭系数 q_N 和表观光合电子传递的相对速率 $rETR$ 值;第四,测定同质组培瓶相同位置对荧光的透过率;第五、根据测定的组培瓶对荧光的透过率,将通过组培瓶观察的表观叶绿素荧光参数换算成无组培瓶阻挡荧光通过的组培苗实际叶绿素荧光参数,这些参数即表征该组培苗的光合能力;具体换算方法为:实际基础荧光 = 表观基础荧光 / T、实际最大荧光 = 表观最大荧光 / T,其他参数不需换算,即表观 F_v/F_m = 实际 F_v/F_m 、表观 $\Phi_{PS II}$ = 实际 $\Phi_{PS II}$ 、表观 q_P = 实际 q_P 、表观 q_N = 实际 q_N 、表观 $rETR$ = 实际 $rETR$;其中 T 表示与待测组培苗同质地的组培瓶的相同位置对荧光的透过率。

2. 根据权利要求 1 所述的测定植物组培苗光合能力的方法,其特征在于:在第一步骤中,是将含有组培苗的组培瓶放在暗处,使组培苗暗适应后,整瓶放在调制荧光成像系统的持物台上,调整组培瓶的方向和位置使组培苗的叶片暴露在调制荧光成像系统的探头探测的范围内。

3. 根据权利要求 1 所述的测定植物组培苗光合能力的方法,其特征在于:在第二步骤中,获取 PS II 的最大量子产量 F_v/F_m 的荧光图像,从荧光图像中选点记录组培苗叶片表观基础荧光 F_0 、表观最大荧光 F_m 以及 PS II 的最大量子产量 F_v/F_m 的信息。

4. 根据权利要求 1 所述的测定植物组培苗光合能力的方法,其特征在于:在第三步骤中,测定在光化光的照射下该组培苗叶片的表观荧光动力学参数,获取其 PS II 的实际量子产量 $\Phi_{PS II}$ 、光化学淬灭系数 q_P 、非光化学淬灭系数 q_N 和光合电子传递的相对速率 $rETR$ 值。

测定植物组培苗光合能力的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种测定植物组培苗光合能力的方法,属于生物工程领域。

背景技术

[0002] 植物组织培养是指植物的离体器官、组织或细胞在人工控制的环境下培养发育再生成完整植株的技术。在植物组织培养过程中,组培苗的光合能力的大小影响植株的生长、发育和分化。无菌在线测定组培苗的光合能力对工厂化的苗木生产,具有重要的意义,是调控组培的环境因子、改良培养基的配方的重要依据。

[0003] 目前组培苗的光合能力的测定是基于容器内的二氧化碳浓度的变化(徐志刚,崔瑾,焦学磊,丁为民,李式军,农业工程学报,2003,第19卷第4期,pp.38-40;王立文,丁为民,丁永前,农业机械学报,2005,第36卷第5期,pp.93-96),这种方法受测定环境的影响较大,步骤相对复杂,并且不能测出组培苗固有的光合能力,测定时间较长。为了克服以上问题,必须寻找快速、便捷的方法测定组培苗的光合能力。

[0004] 叶绿素荧光信号包含了非常丰富的植物光合作用信息,尤其是调制叶绿素荧光技术的发明极大地推动了光合作用的快速、无损测量方法的发展,目前叶绿素荧光技术已广泛地用来测定农林园艺作物等的光合能力的测定。

[0005] 但是,由于组培苗是培养在容器中,调制荧光仪的探头难以在无菌状态下接近,不能夹持组培苗的叶片,因此,限制了用叶绿素荧光技术测定组培苗的光合能力。

[0006] 虽然,调制荧光仪的探头难以夹持组培苗的叶片,但是可以夹持组培瓶,使组培苗的叶片暴露在探头可探测的范围内。由于组培容器对光具有通透性,因此可以利用带成像功能的调制荧光成像系统的调制荧光仪的探头获取荧光图像和荧光信号。利用组培容器对光的通透性以及根据组培容器的透光率,换算各种荧光参数。换算后的荧光参数可以表征组培苗的光合能力。

[0007] 1983年,WALZ公司首席科学家、德国乌兹堡大学教授Ulrich Schreiber博士利用调制技术和饱和脉冲技术,设计制造了全世界第一台脉冲振幅调制(Pulse-Amplitude-Modulation,PAM)荧光仪——PAM-101/102/103(调制叶绿素荧光仪的工作原理,参见<http://baike.baidu.com/view/1116027.htm#1>)。

[0008] 所谓调制技术,就是说用于激发荧光的测量光具有一定的调制(开/关)频率,检测器只记录与测量光同频的荧光,因此调制荧光仪允许测量所有生理状态下的荧光,包括背景光很强时。正是由于调制技术的出现,才使得叶绿素荧光由传统的“黑匣子”(避免环境光)测量走向了野外环境光下测量,由生理学走向了生态学。

[0009] 所谓饱和脉冲技术,就是打开一个持续时间很短(一般小于1s)的强光关闭所有的电子门(光合作用被暂时抑制),从而使叶绿素荧光达到最大。饱和脉冲(Saturation Pulse,SP)可被看作是光化光的一个特例。光化光越强,PS II释放的电子越多,PQ处累积的电子越多,也就是说关闭态的电子门越多,F越高。当光化光达到使所有的电子门都关闭(不能进行光合作用)的强度时,就称之为饱和脉冲。

[0010] 打开饱和脉冲时,本来处于开放态的电子门将该用于光合作用的能量转化为了叶绿素荧光和热, F 达到最大值。

[0011] 经过充分暗适应后,所有电子门均处于开放态,打开测量光得到 F_0 ,此时给出一个饱和脉冲,所有的电子门就都将该用于光合作用的能量转化为了荧光和热,此时得到的叶绿素荧光为 F_m 。根据 F_m 和 F_0 可以计算出光系统 II (PS II) 的最大量子产量 $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$,它反映了植物的潜在最大光合能力。

[0012] 在光照下光合作用进行时,只有部分电子门处于开放态。如果给出一个饱和脉冲,本来处于开放态的电子门将该用于光合作用的能量转化为了叶绿素荧光和热,此时得到的叶绿素荧光为 F_m' 。根据 F_m' 和 F 可以求出在当前的光照状态下 PS II 的实际量子产量 $Yield = \Phi_{PSII} = \Delta F/F_m' = (F_m' - F)/F_m'$,它反映了植物目前的实际光合效率。

[0013] 在光照下光合作用进行时,只有部分电子门处于关闭态,实时荧光 F 比 F_m 要低,也就是说发生了荧光淬灭 (quenching)。植物吸收的光能只有 3 条去路:光合作用、叶绿素荧光和热。根据能量守恒: $1 = \text{光合作用} + \text{叶绿素荧光} + \text{热}$ 。可以得出: $\text{叶绿素荧光} = 1 - \text{光合作用} - \text{热}$ 。也就是说,叶绿素荧光产量的下降(淬灭)有可能是由光合作用的增加或热耗散的增加引起的。由光合作用的引起的荧光淬灭称之为光化学淬灭 (photochemical quenching, q_P);由热耗散引起的荧光淬灭称之为非光化学淬灭 (non-photochemical quenching, q_N 或 NPQ)。光化学淬灭反映了植物光合活性的高低;非光化学淬灭反映了植物耗散过剩光能为热的能力,也就是光保护能力。

[0014] 光照状态下打开饱和脉冲时,电子门被完全关闭,光合作用被暂时抑制,也就是说光化学淬灭被全部抑制,但此时荧光值还是比 F_m 低,也就是说还存在荧光淬灭,这些剩余的荧光淬灭即为非光化学淬灭。淬灭系数的计算公式为: $q_P = (F_m' - F_s)/F_v' = 1 - (F_s - F_0')/(F_m' - F_0')$; $q_N = (F_v - F_v')/F_v = 1 - (F_m' - F_0')/(F_m - F_0)$; $NPQ = (F_m - F_m')/F_m' = F_m/F_m' - 1$ 。

[0015] 根据 PSII 的实际量子产量 $\Delta F/F_m'$ 和光合有效辐射 (Photosynthetically Active Radiation, PAR) 还可计算出光合电子传递的相对速率 $rETR = \Delta F/F_m' \cdot PAR \cdot 0.84 \cdot 0.5$ 。其中 0.84 是植物的经验性吸光系数,0.5 是假设植物吸收的光能被两个光系统均分。

[0016] 本发明就是利用以上调制荧光成像系统原理获取组培苗的光合能力信息。

发明内容

[0017] 本发明要解决的技术问题是,提供一种测定植物组培苗光合能力的方法,该方法在不夹持组培苗叶片的情况下,获取组培苗叶片的荧光参数,在线、无菌获取组培苗的光合能力信息,以克服现有技术存在的受测定环境的影响较大,步骤相对复杂,不能测出组培苗固有的光合能力,测定时间较长等不足。

[0018] 本发明采取以下技术方案:它包含以下步骤:第一,将含有组培苗的组培瓶,经过暗适应后,使组培苗的叶片暴露在调制荧光成像系统的探头探测的范围内;第二,获取叶绿素荧光图像,从荧光图像上选点记录组培苗叶片的基础叶绿素荧光信息;第三,测定该组培苗叶片的表现荧光动力学参数,获取叶绿素荧光参数值;第四,测定同质组培瓶相同位置对荧光的透过率;第五、根据测定的组培瓶对荧光的透过率,将通过组培瓶观察的表现叶绿素

荧光参数换算成无组培瓶阻挡荧光通过的组培苗实际叶绿素荧光参数,这些参数即表征该组培苗的光合能力。

[0019] 在第一步骤中,是将含有组培苗的组培瓶放在暗处,使组培苗暗适应后,整瓶放在调制荧光成像系统的持物台上,调整组培瓶的方向和位置使组培苗的叶片暴露在调制荧光成像系统的探头探测的范围内。

[0020] 在第二步骤中,获取 PS II 的最大量子产量 F_v/F_m 的荧光图像,从荧光图像中选点记录组培苗叶片表观基础荧光 F_o 、表观最大荧光 F_m 以及 PSII 的最大量子产量 F_v/F_m 的信息。

[0021] 在第三步骤中,测定在光化光的照射下该组培苗叶片的表观荧光动力学参数,获取其 PS II 的实际量子产量 Φ_{PSII} 、光化学淬灭系数 q_P 、非光化学淬灭系数 q_N 和光合电子传递的相对速率 $rETR$ 值。

[0022] 本发明的原理是:依据调制叶绿素荧光仪的工作原理、荧光成像原理以及组培容器具有透光性,用调制荧光成像系统获取组培苗叶片荧光图像和组培苗叶片的表观叶绿素荧光参数,依据组培容器的透光率换算成组培苗叶片的实际叶绿素荧光参数,组培苗实际叶绿素荧光参数代表着组培苗的光合能力。

[0023] 本发明的优点如下:

[0024] 1) 本方法能简便、可靠地测定植物组培苗的光合能力。

[0025] 2) 本方法能在线、无菌、快速测定组培苗光合能力。

具体实施方式

[0026] 本发明的实施例:它包含以下步骤:

[0027] 第一,将含有组培苗的组培瓶,放在不透光的黑色布袋中暗处理 20-30min,使组培苗暗适应后,整瓶放在调制荧光成像系统的持物台上,调整组培瓶的方向和位置使组培苗的叶片暴露在调制荧光成像系统的探头可探测的范围内。

[0028] 第二,按常规步骤,获取 PSII 的最大量子产量 F_v/F_m 的荧光图像,在荧光图像上选取合适的点记录组培苗叶片表观基础荧光 F_o 、表观最大荧光 F_m 以及 PSII 的最大量子产量 F_v/F_m 的信息。

[0029] 第三,按常规步骤,测定该组培苗叶片的表观荧光动力学参数,获取 PSII 的实际量子产量 Φ_{PSII} 、光化学淬灭系数 q_P 、非光化学淬灭系数 q_N 和光合电子传递的相对速率 $rETR$ 值。

[0030] 第四,选择与含有待测组培苗同质的组培瓶,破坏性获取它的相同位置对荧光的透过率,记为 T 。

[0031] 第五,根据上述测定的组培瓶对荧光的透过率,将通过组培瓶观察的表观叶绿素荧光参数换算成无组培瓶阻挡荧光通过的组培苗实际叶绿素荧光参数。其换算方法为:

[0032] 实际基础荧光(记为 RF_o) = 表观基础荧光(记为 AF_o)/ T 、实际最大荧光(记为 RF_m) = 表观最大荧光(记为 AF_m)/ T 。其他参数因是荧光的比值,所以不需换算。也就是说:表观 F_v/F_m = 实际 F_v/F_m 、表观 Φ_{PSII} = 实际 Φ_{PSII} 、表观 q_P = 实际 q_P 、表观 q_N = 实际 q_N 、表观 $rETR$ = 实际 $rETR$ 。因此,可以不改变符号来表征它们的意义。这些参数综合表征该组培苗的光合能力。

[0033] 应用实施例 1:测定低温处理后诸葛菜组培苗的光合能力。试验在人工气候室内进行,室内温度、湿度及 CO_2 浓度均可调。培养室温度为 $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$, CO_2 浓度控制在 $360 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, 空气湿度控制为 45%。供试材料为培养 3~4 代的继代诸葛菜组培苗。组培瓶由玻璃制作的 150ml 三角培养瓶。光周期为光 14h, 暗 10h, 培养基为含 3% 蔗糖的 MS 附加 $0.1 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA (α -萘乙酸)、 $2 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 6-BA (6-苄基嘌呤) 的培养基, 培养基用量为 50ml。光强设定为 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 培养 15 天后。对照:组培苗继续培养 3 天;处理 1:组培苗在 $0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 下黑暗处理 3 天;处理 2:组培苗在 $4 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 下黑暗处理 3 天;处理 3:组培苗在 $8 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 下黑暗处理 3 天。随后用本发明测定低温处理后诸葛菜组培苗的光合能力。

[0034] 将上述含有诸葛菜组培苗的组培瓶,放在不透光的黑色布袋中暗处理 30min,使组培苗暗适应后,整瓶放在调制荧光成像系统 IMAGING-PAM 的持物台上,调整组培瓶的方向和位置使组培苗的叶片暴露在调制荧光成像系统 IMAGING-PAM 的探头可探测的范围内。按常规步骤,获取 PS II 的最大量子产量 F_v/F_m 的荧光图像,在荧光图像上选取合适的点记录组培苗叶片表观基础荧光 F_o 、表观最大荧光 F_m 以及 PS II 的最大量子产量 F_v/F_m 的信息。随后,按常规步骤,在 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光化光的照射下,测定该组培苗叶片的表观荧光动力学参数,获取其 PS II 的实际量子产量 ΦPSII 、光化学淬灭系数 q_P 、非光化学淬灭系数 q_N 和光合电子传递的相对速率 $r\text{ETR}$ 值。选择与含有待测组培苗同质地的组培瓶,破坏性获取它的相同位置对荧光的透过率,记为 T 。根据上述测定的组培瓶对荧光的透过率,将通过组培瓶观察的表观叶绿素荧光参数换算成无组培瓶阻挡荧光通过的组培苗实际叶绿素荧光参数。换算方法为:

[0035] 实际基础荧光 (记为 $R\text{F}_o$) = 表观基础荧光 (记为 $A\text{F}_o$) / T 、实际最大荧光 (记为 $R\text{F}_m$) = 表观最大荧光 (记为 $A\text{F}_m$) / T 。其他参数因是荧光的比值,所以不需换算。也就是说:表观 F_v/F_m = 实际 F_v/F_m 、表观 ΦPSII = 实际 ΦPSII 、表观 q_P = 实际 q_P 、表观 q_N = 实际 q_N 、表观 $r\text{ETR}$ = 实际 $r\text{ETR}$ 。因此,可以不改变符号来表征它们的意义。这些参数综合表征该组培苗的光合能力。

[0036] 应用实施例 2:测定 LED 红光处理后诸葛菜组培苗的光合能力。试验在人工气候室内进行,室内温度、湿度及 CO_2 浓度均可调。培养室温度为 $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$, CO_2 浓度控制在 $360 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, 空气湿度控制为 45%。供试材料为培养 3~4 代的继代诸葛菜组培苗。组培瓶由玻璃制作的 150ml 三角培养瓶。光周期为光 14h, 暗 10h, 培养基为含 3% 蔗糖的 MS 附加 $0.1 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA (α -萘乙酸)、 $2 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 6-BA (6-苄基嘌呤) 的培养基, 培养基用量为 50ml。光强设定为 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 培养 15 天后。对照:组培苗继续培养 3 天;处理 4:组培苗在 $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ LED 红光下处理 3 天;处理 5:组培苗在 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ LED 红光下处理 3 天。随后用本发明测定 LED 红光处理后诸葛菜组培苗的光合能力。

[0037] 将上述含有诸葛菜组培苗的组培瓶,放在不透光的黑色布袋中暗处理 30min,使组培苗暗适应后,整瓶放在调制荧光成像系统 IMAGING-PAM 的持物台上,调整组培瓶的方向和位置使组培苗的叶片暴露在调制荧光成像系统 IMAGING-PAM 的探头可探测的范围内。按常规步骤,获取 PSII 的最大量子产量 F_v/F_m 的荧光图像,在荧光图像上选取合适的点记录组培苗叶片表观基础荧光 F_o 、表观最大荧光 F_m 以及 PSII 的最大量子产量 F_v/F_m 的信息。随后,按常规步骤,在 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光化光的照射下,测定该组培苗叶片的表观荧光动

力学参数,获取其PS II的实际量子产量 Φ_{PSII} 、光化学淬灭系数 q_P 、非光化学淬灭系数 q_N 和光合电子传递的相对速率 $rETR$ 值。选择与含有待测组培苗同质地的组培瓶,破坏性获取它的相同位置对荧光的透过率,记为 T 。根据上述测定的组培瓶对荧光的透过率,将通过组培瓶观察的表观叶绿素荧光参数换算成无组培瓶阻挡荧光通过的组培苗实际叶绿素荧光参数。换算方法为:

[0038] 实际基础荧光(记为 RF_0) = 表观基础荧光(记为 AF_0)/ T 、实际最大荧光(记为 RF_m) = 表观最大荧光(记为 AF_m)/ T 。其他参数因是荧光的比值,所以不需换算。也就是说:表观 F_v/F_m = 实际 F_v/F_m 、表观 Φ_{PSII} = 实际 Φ_{PSII} 、表观 q_P = 实际 q_P 、表观 q_N = 实际 q_N 、表观 $rETR$ = 实际 $rETR$ 。因此,可以不改变符号来表征它们的意义。这些参数综合表征该组培苗的光合能力。

[0039] 应用实施例3:测定LED蓝光处理后诸葛菜组培苗的光合能力。试验在人工气候室内进行,室内温度、湿度及 CO_2 浓度均可调。培养室温度为 $25 \pm 0.5^\circ C$, CO_2 浓度控制在 $360 \mu mol \cdot mol^{-1}$,空气湿度控制为45%。供试材料为培养3~4代的继代诸葛菜组培苗。组培瓶由玻璃制作的150ml三角培养瓶。光周期为光14h,暗10h,培养基为含3%蔗糖的MS附加 $0.1 mg \cdot L^{-1}$ NAA(α -奈乙酸)、 $2 mg \cdot L^{-1}$ 6-BA(6-苄基嘌呤)的培养基,培养基用量为50ml。光强设定为 $100 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$,培养15天后。对照:组培苗继续培养3天;处理6:组培苗在 $50 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ LED蓝光下处理3天;处理7:组培苗在 $100 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ LED蓝光下处理3天。随后用本发明测定LED蓝光处理后诸葛菜组培苗的光合能力。

[0040] 将上述含有诸葛菜组培苗的组培瓶,放在不透光的黑色布袋中暗处理30min,使组培苗暗适应后,整瓶放在调制荧光成像系统IMAGING-PAM的持物台上,调整组培瓶的方向和位置使组培苗的叶片暴露在调制荧光成像系统IMAGING-PAM的探头可探测的范围内。按常规步骤,获取PS II的最大量子产量 F_v/F_m 的荧光图像,在荧光图像上选取合适的点记录组培苗叶片表观基础荧光 F_0 、表观最大荧光 F_m 以及PS II的最大量子产量 F_v/F_m 的信息。随后,按常规步骤,在 $100 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 光化光的照射下,测定该组培苗叶片的表观荧光动力学参数,获取其PS II的实际量子产量 Φ_{PSII} 、光化学淬灭系数 q_P 、非光化学淬灭系数 q_N 和光合电子传递的相对速率 $rETR$ 值。选择与含有待测组培苗同质地的组培瓶,破坏性获取它的相同位置对荧光的透过率,记为 T 。根据上述测定的组培瓶对荧光的透过率,将通过组培瓶观察的表观叶绿素荧光参数换算成无组培瓶阻挡荧光通过的组培苗实际叶绿素荧光参数。换算方法为:

[0041] 实际基础荧光(记为 RF_0) = 表观基础荧光(记为 AF_0)/ T 、实际最大荧光(记为 RF_m) = 表观最大荧光(记为 AF_m)/ T 。其他参数因是荧光的比值,所以不需换算。也就是说:表观 F_v/F_m = 实际 F_v/F_m 、表观 Φ_{PSII} = 实际 Φ_{PSII} 、表观 q_P = 实际 q_P 、表观 q_N = 实际 q_N 、表观 $rETR$ = 实际 $rETR$ 。因此,可以不改变符号来表征它们的意义。这些参数综合表征该组培苗的光合能力。

[0042] 以上3个应用实施例的效果:表1表示的是不同处理下诸葛菜组培苗的光合能力。括号中的数值表示的标准误差。

[0043] 表1不同处理下诸葛菜组培苗的光合能力

[0044]

	对照	处理 1	处理 2	处理 3	处理 4	处理 5	处理 6	处理 7
AFm	0.320 (0.026)	0.312 (0.049)	0.347 (0.019)	0.343 (0.029)	0.296 (0.024)	0.188 (0.011)	0.366 (0.016)	0.490 (0.036)
[0045]								
RFm	0.390 (0.032)	0.380 (0.060)	0.423 (0.023)	0.418 (0.035)	0.361 (0.029)	0.229 (0.013)	0.446 (0.020)	0.598 (0.044)
AFo	0.136 (0.017)	0.149 (0.018)	0.106 (0.006)	0.175 (0.024)	0.239 (0.027)	0.150 (0.009)	0.182 (0.007)	0.273 (0.035)
RFo	0.166 (0.021)	0.182 (0.022)	0.129 (0.007)	0.213 (0.029)	0.291 (0.033)	0.183 (0.011)	0.222 (0.009)	0.333 (0.043)
Fv/Fm	0.583 (0.023)	0.509 (0.044)	0.693 (0.008)	0.489 (0.054)	0.198 (0.051)	0.195 (0.037)	0.499 (0.018)	0.451 (0.039)
qN	0.342 (0.031)	0.309 (0.011)	0.185 (0.015)	0.244 (0.036)	0.587 (0.094)	0.483 (0.021)	0.352 (0.033)	0.321 (0.015)
qP	0.129 (0.008)	0.089 (0.033)	0.188 (0.006)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.080 (0.029)	0.135 (0.017)
rETR	7.30 (0.35)	6.03 (0.90)	14.58 (0.54)	0.48 (0.48)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	4.33 (0.08)	8.23 (1.21)
ΦPSII	0.058 (0.003)	0.048 (0.007)	0.117 (0.004)	0.004 (0.004)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.035 (0.006)	0.066 (0.010)

[0046] 从表 1 中可以看出处理 2 的组培苗的光合能力最强,它超过了对照,RFo 仅为 0.129 (RFo 越小,光合能力越强),Fv/Fm 最大,为 0.693,qN 最小,qP 最大、rETR、ΦPSII 均最大。两个 LED 红光处理的(处理 4、处理 5)组培苗的光合能力极弱,甚至在 $100 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光化光的照射下,测定的 ΦPSII、qP 和 rETR 值为零。处理 7 的光合能力与对照相当。处理 1 的光合能力稍大于处理 6。所有处理的组培苗的光合能力的大小顺序为:处理 2 > 对照、处理 7 > 处理 1 > 处理 6 > 处理 4、处理 5。可以粗略地用光化光的照射下的 ΦPSII、qP 和 rETR 值表征组培苗的光合能力。从表 1 中还可以看出组培苗在 $4 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 下黑暗处理 3 天使它光合能力增强,这为低温保存组培物提供科学依据。LED 红光降低诸葛菜组培苗的光合能力,LED 蓝光培养对诸葛菜组培苗的光合能力影响不大。