



(21) 申请号 202110936967.0

审查员 曹婧

(22) 申请日 2021.08.16

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113884621 A

(43) 申请公布日 2022.01.04

(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 方蕾 吴沿胜 童成英

周英 罗亮

(74) 专利代理机构 日照市聚信创腾知识产权代

理事务所(普通合伙) 37319

专利代理师 彭爱春

(51) Int. Cl.

G01N 33/00 (2006.01)

权利要求书3页 说明书18页

(54) 发明名称

一种定量植物吸收利用重碳酸盐的方法

(57) 摘要

本发明公开一种定量植物吸收利用重碳酸盐的方法,利用双向同位素示踪培养技术,分别空白系统和待测植物进行培养,测定不同时间下系统中的稳定碳同位素值,获取不同时间下加入的重碳酸盐占溶液中总无机碳的份额和培养液的体积,计算不同时间下两种系统中的标记的重碳酸盐消耗量,进一步获取系统中来自空气溶解的重碳酸盐累积消耗量以及重碳酸盐总的累积消耗量;构建不同时间下重碳酸盐总的累积消耗量随时间的线性关系模型,获取系统中消耗总重碳酸盐的速率,进一步获取待测植物吸收利用重碳酸盐的速率。本发明快速无损定量整株植物对重碳酸盐的吸收利用能力,可为快速测定喀斯特适生植物打下基础。

1. 一种定量植物吸收利用重碳酸盐的方法,其特征在于:

第一,测定不同厂家生产的重碳酸盐,选择两种 $\delta^{13}\text{C}$ 值差值大于10‰的重碳酸盐作为同位素标记1和同位素标记2的示踪剂;

第二,将其分别加入到营养液中,营养液中重碳酸盐浓度设置为 $c$ ,pH设置为待测条件需要的pH,培养液的原始体积为 $v_0$ ,同位素标记1的溶液中碳酸氢根离子 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $\delta_{c1}$ ,同位素标记2的溶液中碳酸氢根离子 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $\delta_{c2}$ ;

第三,将以上配制的溶液进行双向同位素示踪空白培养和双向同位素示踪待测植物的培养;

第四,测定不同时间下双向同位素示踪空白培养系统溶液的体积,从双向同位素示踪空白培养中获取不同时间下加入的重碳酸盐占溶液中总无机碳的份额 $f_{0i}$ 以及培养液的体积 $v_{0i}$ ,这里的 $i$ 为不同时间的取样次数;从双向同位素示踪待测植物的培养中获取不同时间下加入的重碳酸盐占溶液中总无机碳的份额 $f_{Bi}$ 和培养液的体积 $v_{1i}$ ,这里的 $i$ 为不同时间的取样次数;

第五,获取不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中的标记的重碳酸盐累积消耗量 $m_i$ 以及不同时间下双向同位素示踪待测植物的培养系统中的标记的重碳酸盐消耗量 $p_i$ ,这里的 $i$ 为不同时间的取样次数;在第五步骤中的所述的获取不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中的标记的重碳酸盐累积消耗量 $m_i$ 的方法为, $m_i = (cv_0f_{00} - cv_{0i}f_{0i}) - d_i^0$ ,其中 $c$ 为设置的重碳酸盐浓度的原始浓度, $v_{0i}$ 为不同时间下双向同位素示踪空白培养系统中的培养液的体积, $f_{00}$ 为溶液起始的标记的重碳酸盐的份额, $d_i^0$ 为采样累积消耗量;同理,不同时间下双向同位素示踪待测植物的培养系统中的标记的重碳酸盐消耗量 $p_i$ 的方法为, $p_i = (cv_0f_{B0} - cv_{1i}f_{Bi}) - d_i^1$ ,其中 $c$ 为设置的重碳酸盐浓度的原始浓度, $v_{1i}$ 为不同时间下双向同位素示踪待测植物的培养系统中的培养液的体积, $f_{B0}$ 为溶液起始的标记的重碳酸盐的份额, $d_i^1$ 为采样累积消耗量;这里的 $i$ 为不同时间的取样次数;

第六,依据从双向同位素示踪空白培养系统中获取的不同时间下加入的重碳酸盐占溶液中总无机碳的份额 $f_{0i}$ 和不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中的标记的重碳酸盐累积消耗量 $m_i$ ,获取不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中来自空气溶解的重碳酸盐累积消耗量 $n_i$ ,这里的 $i$ 为不同时间的取样次数;

第七,依据从双向同位素示踪待测植物的培养中获取的不同时间下加入的重碳酸盐占溶液中总无机碳的份额 $f_{Bi}$ 和不同时间段下双向同位素示踪待测植物的培养系统中的标记的重碳酸盐消耗量 $p_i$ ,获取不同时间段下双向同位素示踪待测植物的培养系统中的来自空气溶解的重碳酸盐累积消耗量 $q_i$ ,这里的 $i$ 为不同时间的取样次数;

第八、获取不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中总重碳酸盐的累积消耗量 $a_0$ ;

第九、获取不同时间段下双向同位素示踪待测植物的培养中总重碳酸盐的累积消耗量 $b_0$ ;

第十,构建不同时间下 $a_0$ 随时间的线性关系模型,获取模型的斜率即为双向同位素示踪空白培养系统中消耗总重碳酸盐的速率 $V_0$ ;

第十一,构建不同时间下 $b_0$ 随时间的线性关系模型,获取模型的斜率即为双向同位素示踪待测植物培养系统中消耗总重碳酸盐的速率 $V_1$ ;

第十二,依据双向同位素示踪空白培养系统中消耗总重碳酸盐的速率 $V_0$ 和双向同位素

示踪待测植物培养系统中消耗总重碳酸盐的速率 $V_1$ , 获取待测植物吸收利用重碳酸盐的速率 $V_b$ ;

第十三, 测定上述培养结束后的待测植物的植株鲜重 $F_w$ 、根鲜重 $R_{fw}$ 、地上部鲜重 $S_{fw}$ , 植株干重 $D_w$ 、根干重 $R_{dw}$ 和地上部干重 $S_{dw}$ ;

第十四, 获得不同单位质量下的重碳酸盐的利用速率 $V_j$ , 这里 $j$ 分别表示基于植株鲜重 $F_w$ 、根鲜重 $R_{fw}$ 、地上部鲜重 $S_{fw}$ 、植株干重 $D_w$ 、根干重 $R_{dw}$ 和地上部干重 $S_{dw}$ 的单位质量下的重碳酸盐的利用速率 $V_{FW}$ 、 $V_{RFW}$ 、 $V_{SFW}$ 、 $V_{DW}$ 、 $V_{RDW}$ 和 $V_{SDW}$ 。

2. 根据权利要求1所述的一种定量植物吸收利用重碳酸盐的方法, 其特征在于: 在第三步骤中的所述的双向同位素示踪空白培养就是, 将分别加入同位素标记1的碳酸氢根离子和同位素标记2的碳酸氢根离子配制的培养液, 加到无植物的培养容器中, 在待测环境下培养; 在第三步骤中的所述的双向同位素示踪待测植物的培养方法为, 首先, 将加入同位素标记1的重碳酸盐配制的培养液加到具有待测植物的培养容器中, 在待测环境下培养; 随后, 将该待测植物驯化培养1天, 再将加入同位素标记2的重碳酸盐配制的培养液加到具有该待测植物的培养容器中, 在待测环境下培养。

3. 根据权利要求1所述的一种定量植物吸收利用重碳酸盐的方法, 其特征在于: 在第四步骤中的所述的从双向同位素示踪空白培养中获取不同时间下加入的重碳酸盐占溶液中总无机碳的份额 $f_{0i}$ 的方法为, 在双向同位素示踪空白培养系统中, 分别测定同一处理时间下的空白培养系统中两种同位素标记的营养液中稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 值 $\delta_{0_{1i}}$ 和 $\delta_{0_{2i}}$ 值, 测试时间点5个以上; 将测得的 $\delta_{C_1}$ 、 $\delta_{C_2}$ 以及不同时间下的 $\delta_{0_{1i}}$ 和 $\delta_{0_{2i}}$ 值带入方程

$$f_{0i} = \frac{\delta_{0_{1i}} - \delta_{0_{2i}}}{\delta_{C_1} - \delta_{C_2}},$$

计算出不同时间下空白培养容器中剩余的加入的重碳酸盐占溶液中总无机碳的份额 $f_{0i}$ , 这里的 $i$ 为不同时间的取样次数; 在第四步骤中的所述的从双向同位素示踪待测植物的培养中获取不同时间下加入的重碳酸盐占溶液中总无机碳的份额 $f_{Bi}$ 的方法为, 在双向同位素示踪待测植物的培养系统中, 分别测定同一处理时间下的待测植物的培养系统中两种同位素标记的营养液中稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 值 $\delta_{1i}$ 和 $\delta_{2i}$ 值, 测试时间点5个以上; 将测得的 $\delta_{C_1}$ 、 $\delta_{C_2}$ 以 $\delta_{1i}$ 和 $\delta_{2i}$ 值带入方程

$$f_{Bi} = \frac{\delta_{1i} - \delta_{2i}}{\delta_{C_1} - \delta_{C_2}},$$

计算出不同时间下双向同位素示踪待测植物的培养系统容器中剩余的加入的重碳酸盐占溶液中总无机碳的份额 $f_{Bi}$ , 这里的 $i$ 为不同时间的取样次数。

4. 根据权利要求1所述的一种定量植物吸收利用重碳酸盐的方法, 其特征在于: 不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中采样累积消耗量 $d_i^0$ 的计算方法为:  $d_i^0 = d_{i-1}^0 + cv_d f_{0i}$ ,  $v_d$ 为采样分析时取样体积, 这里的 $i$ 为不同时间的取样次数,  $d_0^0$ 为0,  $d_{i-1}^0$ 为上次采样累积消耗量; 同理, 不同时间段下双向同位素示踪待测植物的培养系统中采样累积消耗量 $d_i^1$ 的计算方法为:  $d_i^1 = d_{i-1}^1 + cv_d f_{Bi}$ ,  $v_d$ 为采样分析时取样体积, 这里的 $i$ 为不同时间的取样次数,  $d_0^1$ 为0,  $d_{i-1}^1$ 为上次采样累积消耗量。

5. 根据权利要求1所述的一种定量植物吸收利用重碳酸盐的方法, 其特征在于: 在第六步骤中的所述的获取不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中来自空气溶解的重碳酸盐累积消耗量 $n_i$ 的方法为:  $n_i = m_i \frac{(1 - f_{0i})}{f_{0i}}$ ; 在第七步骤中所述的获取不同时间段下待测

植物的培养系统中的来自空气溶解的重碳酸盐累积消耗量 $q_i$ 的方法为： $q_i = p_i \frac{(1-f_{Bi})}{f_{Bi}}$ 。

6. 根据权利要求1所述的一种定量植物吸收利用重碳酸盐的方法,其特征在于:在第八步骤中的所述的不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中总重碳酸盐的累积消耗量 $a_0$ 为标记的重碳酸盐累积消耗量 $m_i$ 和来自空气溶解的重碳酸盐累积消耗量 $n_i$ 之和。

7. 根据权利要求1所述的一种定量植物吸收利用重碳酸盐的方法,其特征在于:在第九步骤中的所述的不同时间段下双向同位素示踪待测植物的培养中总重碳酸盐的累积消耗量 $b_0$ 为标记的重碳酸盐累积消耗量 $p_i$ 和来自空气溶解的重碳酸盐累积消耗量 $q_i$ 之和。

8. 根据权利要求1所述的一种定量植物吸收利用重碳酸盐的方法,其特征在于:在第十二步骤中的所述的获取待测植物吸收利用重碳酸盐的速率 $V_b$ 的方法为, $V_b = V_1 - V_0$ 。

9. 根据权利要求1所述的一种定量植物吸收利用重碳酸盐的方法,其特征在于:在第十四步骤中的所述的获得单位质量下的重碳酸盐的利用速率 $V_{FW}$ 、 $V_{RFW}$ 、 $V_{SFW}$ 、 $V_{DW}$ 、 $V_{RDW}$ 和 $V_{SDW}$ 的计算方法为: $V_{FW} = V_b / Fw$ ,  $V_{RFW} = V_b / Rfw$ ,  $V_{SFW} = V_b / Sfw$ ,  $V_{DW} = V_b / Dw$ ,  $V_{RDW} = V_b / Rdw$ 和 $V_{SDW} = V_b / Sdw$ 。

## 一种定量植物吸收利用重碳酸盐的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种定量植物吸收利用重碳酸盐的方法,属于植物生理信息检测技术以及生态环境治理领域。

### 背景技术

[0002] 植物不仅利用二氧化碳,同时也利用碳酸氢根离子。但是,以前测定植物利用的碳酸氢根离子的份额,虽然也是利用双向同位素示踪培养的方法(吴沿友,邢德科,李海涛,刘莹,利用双标记获取植物利用无机碳源份额的方法,CN102511362A,2012),但是这种方法实验条件相对苛刻,控制的难度大,测定的仅是叶片同化重碳酸盐的份额,而未能包括其他器官如根、茎等器官的重碳酸盐的吸收利用部分,因此很难获取整株植物的重碳酸盐的吸收利用能力。因此,迫切需要一种快速无损的定量植物吸收利用重碳酸盐能力的方法。

[0003] 植物吸收利用重碳酸盐,一方面,带动了碳酸盐的溶蚀作用,加快了溶蚀碳汇的形成,为“碳中和”作出巨大贡献,另一方面,促进了光合作用以及碳氮代谢,有利于植物的生长发育,增加了植物的碳汇能力,为生态系统提供食物和能源。因此测定植物的吸收利用重碳酸盐的能力,一方面可为植物的碳代谢提供新的知识,另一方面也可为筛选喀斯特适生植物提供基础数据,最终为“碳达峰”和“碳中和”提供方案。本发明就是基于同位素双向标记培养法,通过比较有无植物的培养系统中消耗标记重碳酸盐的的速率获取植物吸收利用重碳酸盐的能力。

### 发明内容

[0004] 本发明要解决的技术问题是,提供一种定量植物吸收利用重碳酸盐的方法,以克服现有技术一方面难以快速无损定量植物吸收利用重碳酸盐的能力,另一方面难以测定整株植物对重碳酸盐的吸收利用能力等的不足。

[0005] 本发明采取以下技术方案:它包括以下步骤:

[0006] 1、一种定量植物吸收利用重碳酸盐的方法,其特征在于:

[0007] 第一,测定不同厂家生产的重碳酸盐,选择两种 $\delta^{13}\text{C}$ 值差值大于10‰的重碳酸盐作为同位素标记1和同位素标记2的示踪剂;

[0008] 第二,将其分别加入到营养液中,营养液中重碳酸盐浓度设置为 $c$ ,pH为设置为待测条件需要的pH,培养液的原始体积为 $v_0$ ,同位素标记1的溶液中碳酸氢根离子 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $\delta_{c1}$ ,同位素标记2的溶液中碳酸氢根离子 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $\delta_{c2}$ ;

[0009] 第三,将以上配制的溶液进行双向同位素示踪空白培养和双向同位素示踪待测植物的培养;

[0010] 第四,测定不同时间下双向同位素示踪空白培养系统溶液的体积从双向同位素示踪空白培养中获取不同时间下加入的重碳酸盐占溶液中总无机碳的份额 $f_{0i}$ 以及培养液的体积 $v_{0i}$ ,这里的 $i$ 为不同时间的取样次数;从双向同位素示踪待测植物的培养中获取不同时间下加入的重碳酸盐占溶液中总无机碳的份额 $f_{bi}$ 和培养液的体积 $v_{1i}$ ,这里的 $i$ 为不同时间

的取样次数；

[0011] 第五,获取不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中的标记的重碳酸盐累积消耗量 $m_i$ 以及不同时间下双向同位素示踪待测植物的培养系统中的标记的重碳酸盐消耗量 $p_i$ ,这里的 $i$ 为不同时间的取样次数；

[0012] 第六,依据从双向同位素示踪空白培养系统中获取的不同时间下加入的重碳酸盐占溶液中总无机碳的份额 $f_{0i}$ 和不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中的标记的重碳酸盐累积消耗量 $m_i$ ,获取不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中来自空气溶解的重碳酸盐累积消耗量 $n_i$ ,这里的 $i$ 为不同时间的取样次数；

[0013] 第七,依据从双向同位素示踪待测植物的培养中获取的不同时间下加入的重碳酸盐占溶液中总无机碳的份额 $f_{bi}$ 和不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中的标记的重碳酸盐累积消耗量 $p_i$ ,获取不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中的来自空气溶解的重碳酸盐累积消耗量 $q_i$ ,这里的 $i$ 为不同时间的取样次数；

[0014] 第八、获取不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中总重碳酸盐的累积消耗量 $a_0$ ；

[0015] 第九、获取不同时间段下双向同位素示踪待测植物的培养中总重碳酸盐的累积消耗量 $b_0$ ；

[0016] 第十,构建不同时间下 $a_0$ 随时间的线性关系模型,获取模型的斜率即为双向同位素示踪空白培养系统中消耗总重碳酸盐的速率 $V_0$ ；

[0017] 第十一,构建不同时间下 $b_0$ 随时间的线性关系模型,获取模型的斜率即为双向同位素示踪待测植物培养系统中消耗总重碳酸盐的速率 $V_1$ ；

[0018] 第十二,依据双向同位素示踪空白培养系统中消耗总重碳酸盐的速率 $V_0$ 和双向同位素示踪待测植物培养系统中消耗总重碳酸盐的速率 $V_1$ ,获取待测植物吸收利用重碳酸盐的速率 $V_b$ ；

[0019] 第十三,测定上述培养结束后的待测植物的植株鲜重 $Fw$ 、根鲜重 $Rfw$ 、地上部鲜重 $Sfw$ ,植株干重 $Dw$ 、根干重 $Rdw$ 和地上部干重 $Sdw$ ；

[0020] 第十四,获得不同单位质量下的重碳酸盐利用速率 $V_j$ ,这里 $j$ 可以分别表示基于植株鲜重 $Fw$ 、根鲜重 $Rfw$ 、地上部鲜重 $Sfw$ 、植株干重 $Dw$ 、根干重 $Rdw$ 和地上部干重 $Sdw$ 的单位质量下的重碳酸盐的利用速率 $V_{FW}$ 、 $V_{RFW}$ 、 $V_{SFW}$ 、 $V_{DW}$ 、 $V_{RDW}$ 和 $V_{SDW}$ 。

[0021] 在第三步骤中,将分别加入同位素标记1的碳酸氢根离子和同位素标记2的碳酸氢根离子配制的培养液,加到无植物的培养容器中,在待测环境下培养;将加入同位素标记1的重碳酸盐配制的培养液加到具有待测植物的培养容器中,在待测环境下培养;随后,将该待测植物驯化培养1天,再将加入同位素标记2的重碳酸盐配制的培养液加到具有该待测植物的培养容器中,在待测环境下培养；

[0022] 在第四步骤中,在双向同位素示踪空白培养系统中,分别测定同一处理时间下的空白培养系统中两种同位素标记的营养液中稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 值 $\delta_{0_{1i}}$ 和 $\delta_{0_{2i}}$ 值,测试时间点5个以上;将测得的 $\delta_{C1}$ 、 $\delta_{C2}$ 以及不同时间下的 $\delta_{0_{1i}}$ 和 $\delta_{0_{2i}}$ 值带入方程

$$f_{0i} = \frac{\delta_{0_{1i}} - \delta_{0_{2i}}}{\delta_{C1} - \delta_{C2}},$$

计算出不同时间下空白培养容器中剩余的加入的重碳酸盐占溶液中总

无机碳的份额 $f_{0i}$ ,这里的 $i$ 为不同时间的取样次数;在双向同位素示踪待测植物的培养系统

中,分别测定同一处理时间下的待测植物的培养系统中两种同位素标记的营养液中稳定碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 值 $\delta_{1i}$ 和 $\delta_{2i}$ 值,测试时间点5个以上;将测得的 $\delta_{C1}$ 、 $\delta_{C2}$ 以 $\delta_{1i}$ 和 $\delta_{2i}$ 值带入方程

$$f_{Bi} = \frac{\delta_{1i} - \delta_{2i}}{\delta_{C1} - \delta_{C2}},$$

计算出不同时间下双向同位素示踪待测植物的培养系统容器中剩余的

加入的重碳酸盐占溶液中总无机碳的份额 $f_{Bi}$ ,这里的*i*为不同时间的取样次数;  
 [0023] 在第五步骤中,不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中的标记的重碳酸盐累积消耗量 $m_i$ 的方法为, $m_i = (cv_0f_{00} - cv_{0i}f_{0i}) - d_i^0$ ,其中*c*为设置的重碳酸盐浓度的原始浓度, $v_{0i}$ 为不同时间下双向同位素示踪空白培养系统中的培养液的体积, $f_{00}$ 为溶液起始的标记的重碳酸盐的份额, $d_i^0$ 为采样累积消耗量;同理,不同时间下双向同位素示踪待测植物的培养系统中的标记的重碳酸盐消耗量 $p_i$ 的方法为, $p_i = (cv_0f_{B0} - cv_{1i}f_{Bi}) - d_i^1$ ,其中*c*为设置的重碳酸盐浓度的原始浓度, $v_{1i}$ 为不同时间下双向同位素示踪待测植物的培养系统中的培养液的体积, $f_{B0}$ 为溶液起始的标记的重碳酸盐的份额, $d_i^1$ 为采样累积消耗量;这里的*i*为不同时间的取样次数;不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中采样累积消耗量 $d_i^0$ 的计算方法为: $d_i^0 = d_{i-1}^0 + cv_d f_{0i}$ , $v_d$ 为采样分析时取样体积,这里的*i*为不同时间的取样次数,为 $d_0^0$ 为0, $d_{i-1}^0$ 为上次采样累积消耗量;同理,不同时间段下双向同位素示踪待测植物的培养系统中采样累积消耗量 $d_i^1$ 的计算方法为: $d_i^1 = d_{i-1}^1 + cv_d f_{Bi}$ , $v_d$ 为采样分析时取样体积,这里的*i*为不同时间的取样次数,为 $d_0^1$ 为0, $d_{i-1}^1$ 为上次采样累积消耗量;

[0024] 在第六步骤中,不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中来自空气溶解的重碳酸盐累积消耗量 $n_i$ 的方法为: $n_i = m_i \frac{(1 - f_{0i})}{f_{0i}}$ ;

[0025] 在第七步骤中,不同时间段下待测植物的培养系统中的来自空气溶解的重碳酸盐累积消耗量 $q_i$ 的方法为: $q_i = p_i \frac{(1 - f_{Bi})}{f_{Bi}}$ ;

[0026] 在第八步骤中,不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中总重碳酸盐的累积消耗量 $a_0$ 为标记的重碳酸盐累积消耗量 $m_i$ 和来自空气溶解的重碳酸盐累积消耗量 $n_i$ 之和;

[0027] 在第九步骤中,不同时间段下双向同位素示踪待测植物的培养中总重碳酸盐的累积消耗量 $b_0$ 为标记的重碳酸盐累积消耗量 $p_i$ 和来自空气溶解的重碳酸盐累积消耗量 $q_i$ 之和;

[0028] 在第十二步骤中,获取待测植物吸收利用重碳酸盐的速率 $V_b$ 的方法为, $V_b = V_1 - V_0$ ;

[0029] 在第十四步骤中,单位质量下的重碳酸盐的利用速率 $V_{FW}$ 、 $V_{RFW}$ 、 $V_{SFW}$ 、 $V_{DW}$ 、 $V_{RDW}$ 和 $V_{SDW}$ 的计算方法为: $V_{FW} = V_b / Fw$ , $V_{RFW} = V_b / Rfw$ , $V_{SFW} = V_b / Sfw$ , $V_{DW} = V_b / Dw$ , $V_{RDW} = V_b / Rdw$ 和 $V_{SDW} = V_b / Sdw$ 。

[0030] 本发明的优点如下:

[0031] 1) 本方法不仅能测定植物吸收利用添加的重碳酸盐的能力,而且还能测定植物吸收利用来自空气 $\text{CO}_2$ 的转变而成的重碳酸盐;

[0032] 2) 本方法能快速无损定量植物吸收利用重碳酸盐的能力;

[0033] 3) 本方法能快速无损定量整株植物对重碳酸盐的吸收利用能力;

[0034] 4) 本方法测定的重碳酸盐的吸收利用能力不仅包括光合同化无机碳而且也包括

了非光合同化的无机碳,为重碳酸盐的其他生理作用的研究提供了技术基础;

[0035] 5) 本方法由于使用了双向同位素示踪培养技术,因此,大大减少了测定植物吸收利用重碳酸盐的同位素分馏值等实验环节,同时也实现了在不需要了解植物吸收利用重碳酸盐复杂机理的条件下快速测定植物吸收利用碳酸氢根离子的特性,为快速测定喀斯特适生植物打下基础。

[0036] 本发明的基本原理为:

[0037] 稳定碳同位素的强烈分馏特征是识别不同无机碳来源的基础。自然界中碳元素有两种稳定同位素: $^{12}\text{C}$ 和 $^{13}\text{C}$ ,它们的天然平均丰度分别为98.89%和1.11%。稳定碳同位素组成通常用 $\delta^{13}\text{C}$ (‰)表示,自然界中 $\delta^{13}\text{C}$ 的变化为-90‰~+20‰。稳定碳同位素的强烈分馏特征有利于识别不同无机碳来源。质量平衡原理以及同位素混合模型和化学计量学方法,是定量识别不同无机碳源的基础。

[0038] 两端元的同位素混合模型可以表示为:

$$[0039] \quad \delta_i = \delta_{\text{Ca}} - f_{\text{Bi}} \delta_a + f_{\text{Bi}} \delta_{\text{ci}} \quad (1)$$

[0040] 这里 $\delta_i$ 为培养植物一定时间后培养液中无机碳的 $\delta^{13}\text{C}$ 值, $\delta_a$ 为空气中二氧化碳溶解到培养液中无机碳的 $\delta^{13}\text{C}$ 值, $\delta_{\text{ci}}$ 为初始培养液中碳酸氢根离子的 $\delta^{13}\text{C}$ 值, $f_{\text{Bi}}$ 为培养植物一定时间后培养液中外源碳酸氢根离子占培养液中总无机碳源的份额。

[0041] 对于同位素标记1来说,方程(1)表示如下式:

$$[0042] \quad \delta_1 = \delta_{\text{Ca}} - f_{\text{B1}} \delta_a + f_{\text{B1}} \delta_{\text{C1}} \quad (2)$$

[0043] 这里 $\delta_1$ 为添加第一种已知 $\delta^{13}\text{C}$ 值的重碳酸盐到营养液中培养植物一定时间后的营养液中 $\delta^{13}\text{C}$ 值, $\delta_a$ 为这段时间内大气中二氧化碳进入到培养液的无机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值, $\delta_{\text{C1}}$ 为第一种重碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}$ 值, $f_{\text{B1}}$ 为培养植物一定时间后培养液中第一种添加的外源碳酸氢根离子占培养液中总无机碳源的份额。

[0044] 对于同位素标记2来说,方程(1)表示如下式:

$$[0045] \quad \delta_2 = \delta_{\text{Ca}} - f_{\text{B2}} \delta_a + f_{\text{B2}} \delta_{\text{C2}} \quad (3)$$

[0046] 这里 $\delta_2$ 为添加第二种已知 $\delta^{13}\text{C}$ 值的重碳酸盐到营养液中培养植物一定时间后的营养液中 $\delta^{13}\text{C}$ 值, $\delta_a$ 为这段时间内大气中二氧化碳进入到培养液的无机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值, $\delta_{\text{C2}}$ 为第二种重碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}$ 值, $f_{\text{B2}}$ 为培养植物一定时间后培养液中第二种添加的外源碳酸氢根离子占培养液中总无机碳源的份额。

[0047] (2)和(3)两个方程中, $f_{\text{B}} = f_{\text{B1}} = f_{\text{B2}}$ , (2)和(3)联立求解

$$[0048] \quad f_{\text{B}} = \frac{\delta_1 - \delta_2}{\delta_{\text{C1}} - \delta_{\text{C2}}} \quad (4)$$

[0049] 这里计算的 $f_{\text{B}}$ 值为培养液培养植物一定时间后培养液中添加的外源碳酸氢根离子占培养液中总无机碳源的份额。

[0050] 实际上,同理,在无植物的系统中,添加的重碳酸盐也可以与来自大气 $\text{CO}_2$ 转化的重碳酸盐的交换消耗了添加的重碳酸盐,这种过程发生一段时间后,培养液中添加的外源碳酸氢根离子占培养液中总无机碳源的份额 $f_0$ ,也可以用(5)式表示:

$$[0051] \quad f_0 = \frac{\delta_0_1 - \delta_0_2}{\delta_{\text{C1}} - \delta_{\text{C2}}} \quad (5)$$

[0052] 这里, $\delta_0_1$ 和 $\delta_0_2$ 值分别表示同一处理时间下的无植物的空白培养系统中两种同位



素标记的营养液中稳定碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 值 $\delta_{0_1}$ 和 $\delta_{0_2}$ 值。

[0053] 不同时间下双向同位素示踪待测植物的培养系统中的标记的重碳酸盐消耗量消耗量 $p_i$ 的方法为, $p_i = (cv_0f_{B0} - cv_{i1}f_{Bi}) - d_i^1$ ,其中 $c$ 为设置的重碳酸盐浓度的原始浓度, $v_{i1}$ 为不同时间下双向同位素示踪待测植物的培养系统中的培养液的体积, $f_{B0}$ 为溶液起始的标记的重碳酸盐的份额, $d_i^1$ 为采样累积消耗量;这里的 $i$ 为不同时间的取样次数;同理,不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中的标记的重碳酸盐累积消耗量 $m_i$ 的方法为, $m_i = (cv_0f_{00} - cv_{0i}f_{0i}) - d_i^0$ ,其中 $c$ 为设置的重碳酸盐浓度的原始浓度, $v_{0i}$ 为不同时间下双向同位素示踪空白培养系统中的培养液的体积, $f_{00}$ 为溶液起始的标记的重碳酸盐的份额, $d_i^0$ 为采样累积消耗量。

[0054] 不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中采样累积消耗量 $d_i^0$ 的计算方法为: $d_i^0 = d_{i-1}^0 + cv_d f_{0i}$ , $v_d$ 为采样分析时取样体积,这里的 $i$ 为不同时间的取样次数,为 $d_i^0$ 为0, $d_{i-1}^0$ 为上次采样累积消耗量;同理,不同时间段下双向同位素示踪待测植物的培养系统中采样累积消耗量 $d_i^1$ 的计算方法为: $d_i^1 = d_{i-1}^1 + cv_d f_{Bi}$ , $v_d$ 为采样分析时取样体积,这里的 $i$ 为不同时间的取样次数,为 $d_i^1$ 为0, $d_{i-1}^1$ 为上次采样累积消耗量;

[0055] 不同时间段下待测植物的培养系统中的来自空气溶解的重碳酸盐累积消耗量 $q_i$ 的方法为: $q_i = p_i \frac{(1-f_{Bi})}{f_{Bi}}$ ;同理,不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中来自空气溶

解的重碳酸盐累积消耗量 $n_i$ 的方法为: $n_i = m_i \frac{(1-f_{0i})}{f_{0i}}$ 。

[0056] 不同时间段下双向同位素示踪待测植物的培养中总重碳酸盐的累积消耗量 $b_0$ 为标记的重碳酸盐累积消耗量 $p_i$ 和来自空气溶解的重碳酸盐累积消耗量 $q_i$ 之和;同理,不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中总重碳酸盐的累积消耗量 $a_0$ 为标记的重碳酸盐累积消耗量 $m_i$ 和来自空气溶解的重碳酸盐累积消耗量 $n_i$ 之和。

[0057] 来自大量的实验,结果表明,系统中总重碳酸盐的累积消耗量与时间成正比关系。有植物的系统中总重碳酸盐的消耗速率与无植物的系统中总重碳酸盐的消耗速率之差,则为植物吸收利用重碳酸盐的速率。

## 具体实施方式

[0058] 本发明的实例:它包括以下步骤:

[0059] 1、一种定量植物吸收利用重碳酸盐的方法,其特征在于:

[0060] 第一,测定不同厂家生产的重碳酸盐,选择两种 $\delta^{13}\text{C}$ 值差值大于10‰的重碳酸盐作为同位素标记1和同位素标记2的示踪剂;

[0061] 第二,将其分别加入到营养液中,营养液中重碳酸盐浓度设置为 $c$ ,pH为设置为待测条件需要的pH,培养液的原始体积为 $v_0$ ,同位素标记1的溶液中碳酸氢根离子 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $\delta_{C1}$ ,同位素标记2的溶液中碳酸氢根离子 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $\delta_{C2}$ ;

[0062] 第三,将以上配制的溶液进行双向同位素示踪空白培养和双向同位素示踪待测植物的培养;

[0063] 第四,测定不同时间下双向同位素示踪空白培养系统溶液的体积从双向同位素示

踪空白培养中获取不同时间下加入的重碳酸盐占溶液中总无机碳的份额 $f_{0i}$ 以及培养液的体积 $v_{0i}$ ,这里的 $i$ 为不同时间的取样次数;从双向同位素示踪待测植物的培养中获取不同时间下加入的重碳酸盐占溶液中总无机碳的份额 $f_{Bi}$ 和培养液的体积 $v_{1i}$ ,这里的 $i$ 为不同时间的取样次数;

[0064] 第五,获取不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中的标记的重碳酸盐累积消耗量 $m_i$ 以及不同时间下双向同位素示踪待测植物的培养系统中的标记的重碳酸盐消耗量 $p_i$ ,这里的 $i$ 为不同时间的取样次数;

[0065] 第六,依据从双向同位素示踪空白培养系统中获取的不同时间下加入的重碳酸盐占溶液中总无机碳的份额 $f_{0i}$ 和不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中的标记的重碳酸盐累积消耗量 $m_i$ ,获取不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中来自空气溶解的重碳酸盐累积消耗量 $n_i$ ,这里的 $i$ 为不同时间的取样次数;

[0066] 第七,依据从双向同位素示踪待测植物的培养中获取的不同时间下加入的重碳酸盐占溶液中总无机碳的份额 $f_{Bi}$ 和不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中的标记的重碳酸盐累积消耗量 $p_i$ ,获取不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中的来自空气溶解的重碳酸盐累积消耗量 $q_i$ ,这里的 $i$ 为不同时间的取样次数;

[0067] 第八、获取不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中总重碳酸盐的累积消耗量 $a_0$ ;

[0068] 第九、获取不同时间段下双向同位素示踪待测植物的培养中总重碳酸盐的累积消耗量 $b_0$ ;

[0069] 第十,构建不同时间下 $a_0$ 随时间的线性关系模型,获取模型的斜率即为双向同位素示踪空白培养系统中消耗总重碳酸盐的速率 $V_0$ ;

[0070] 第十一,构建不同时间下 $b_0$ 随时间的线性关系模型,获取模型的斜率即为双向同位素示踪待测植物培养系统中消耗总重碳酸盐的速率 $V_1$ ;

[0071] 第十二,依据双向同位素示踪空白培养系统中消耗总重碳酸盐的速率 $V_0$ 和双向同位素示踪待测植物培养系统中消耗总重碳酸盐的速率 $V_1$ ,获取待测植物吸收利用重碳酸盐的速率 $V_b$ ;

[0072] 第十三,测定上述培养结束后的待测植物的植株鲜重 $Fw$ 、根鲜重 $Rfw$ 、地上部鲜重 $Sfw$ ,植株干重 $Dw$ 、根干重 $Rdw$ 和地上部干重 $Sdw$ ;

[0073] 第十四,获得不同单位质量下的重碳酸盐的利用速率 $V_j$ ,这里 $j$ 可以分别表示基于植株鲜重 $Fw$ 、根鲜重 $Rfw$ 、地上部鲜重 $Sfw$ 、植株干重 $Dw$ 、根干重 $Rdw$ 和地上部干重 $Sdw$ 的单位质量下的重碳酸盐的利用速率 $V_{FW}$ 、 $V_{RFW}$ 、 $V_{SFW}$ 、 $V_{DW}$ 、 $V_{RDW}$ 和 $V_{SDW}$ 。

[0074] 在第三步骤中,将分别加入同位素标记1的碳酸氢根离子和同位素标记2的碳酸氢根离子配制的培养液,加到无植物的培养容器中,在待测环境下培养;将加入同位素标记1的重碳酸盐配制的培养液加到具有待测植物的培养容器中,在待测环境下培养;随后,将该待测植物驯化培养1天,再将加入同位素标记2的重碳酸盐配制的培养液加到具有该待测植物的培养容器中,在待测环境下培养;

[0075] 在第四步骤中,在双向同位素示踪空白培养系统中,分别测定同一处理时间下的空白培养系统中两种同位素标记的营养液中稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 值 $\delta_{01i}$ 和 $\delta_{02i}$ 值,测试时间点5个以上;将测得的 $\delta_{C1}$ 、 $\delta_{C2}$ 以及不同时间下的 $\delta_{01i}$ 和 $\delta_{02i}$ 值带入方程

$f_{0i} = \frac{\delta_{0_{1i}} - \delta_{0_{2i}}}{\delta_{C1} - \delta_{C2}}$ , 计算出不同时间下空白培养容器中剩余的加入的重碳酸盐占溶液中

总无机碳的份额 $f_{0i}$ , 这里的 $i$ 为不同时间的取样次数; 在双向同位素示踪待测植物的培养系统中, 分别测定同一处理时间下的待测植物的培养系统中两种同位素标记的营养液中稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 值 $\delta_{1i}$ 和 $\delta_{2i}$ 值, 测试时间点5个以上; 将测得的 $\delta_{C1}$ 、 $\delta_{C2}$ 以 $\delta_{1i}$ 和 $\delta_{2i}$ 值带入方程

$f_{Bi} = \frac{\delta_{1i} - \delta_{2i}}{\delta_{C1} - \delta_{C2}}$ , 计算出不同时间下双向同位素示踪待测植物的培养系统容器中剩余的

加入的重碳酸盐占溶液中总无机碳的份额 $f_{Bi}$ , 这里的 $i$ 为不同时间的取样次数;

[0076] 在第五步骤中, 不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中的标记的重碳酸盐累积消耗量 $m_i$ 的方法为,  $m_i = (cv_0f_{00} - cv_{0i}f_{0i}) - d_i^0$ , 其中 $c$ 为设置的重碳酸盐浓度的原始浓度,  $v_{0i}$ 为不同时间下双向同位素示踪空白培养系统中的培养液的体积,  $f_{00}$ 为溶液起始的标记的重碳酸盐的份额,  $d_i^0$ 为采样累积消耗量; 同理, 不同时间下双向同位素示踪待测植物的培养系统中的标记的重碳酸盐消耗量 $p_i$ 的方法为,  $p_i = (cv_0f_{B0} - cv_{1i}f_{Bi}) - d_i^1$ , 其中 $c$ 为设置的重碳酸盐浓度的原始浓度,  $v_{1i}$ 为不同时间下双向同位素示踪待测植物的培养系统中的培养液的体积,  $f_{B0}$ 为溶液起始的标记的重碳酸盐的份额,  $d_i^1$ 为采样累积消耗量; 这里的 $i$ 为不同时间的取样次数; 不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中采样累积消耗量 $d_i^0$ 的计算方法为:  $d_i^0 = d_{i-1}^0 + cv_d f_{0i}$ ,  $v_d$ 为采样分析时取样体积, 这里的 $i$ 为不同时间的取样次数, 为 $d_0^0$ 为0,  $d_{i-1}^0$ 为上次采样累积消耗量; 同理, 不同时间段下双向同位素示踪待测植物的培养系统中采样累积消耗量 $d_i^1$ 的计算方法为:  $d_i^1 = d_{i-1}^1 + cv_d f_{Bi}$ ,  $v_d$ 为采样分析时取样体积, 这里的 $i$ 为不同时间的取样次数, 为 $d_0^1$ 为0,  $d_{i-1}^1$ 为上次采样累积消耗量;

[0077] 在第六步骤中, 不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中来自空气溶解的重碳酸盐累积消耗量 $n_i$ 的方法为:  $n_i = m_i \frac{(1-f_{0i})}{f_{0i}}$ ;

[0078] 在第七步骤中, 不同时间段下待测植物的培养系统中的来自空气溶解的重碳酸盐累积消耗量 $q_i$ 的方法为:  $q_i = p_i \frac{(1-f_{Bi})}{f_{Bi}}$ ;

[0079] 在第八步骤中, 不同时间段下双向同位素示踪空白培养系统中总重碳酸盐的累积消耗量 $a_0$ 为标记的重碳酸盐累积消耗量 $m_i$ 和来自空气溶解的重碳酸盐累积消耗量 $n_i$ 之和;

[0080] 在第九步骤中, 不同时间段下双向同位素示踪待测植物的培养中总重碳酸盐的累积消耗量 $b_0$ 为标记的重碳酸盐累积消耗量 $p_i$ 和来自空气溶解的重碳酸盐累积消耗量 $q_i$ 之和;

[0081] 在第十二步骤中, 获取待测植物吸收利用重碳酸盐的速率 $V_b$ 的方法为,  $V_b = V_1 - V_0$ ;

[0082] 在第十四步骤中,  $V_{FW}$ 、 $V_{RFW}$ 、 $V_{SFW}$ 、 $V_{DW}$ 、 $V_{RDW}$ 和 $V_{SDW}$ 的计算方法为:  $V_{FW} = V_b / Fw$ ,  $V_{RFW} = V_b / Rfw$ ,  $V_{SFW} = V_b / Sfw$ ,  $V_{DW} = V_b / Dw$ ,  $V_{RDW} = V_b / Rdw$ 和 $V_{SDW} = V_b / Sdw$ 。

[0083] 实施例

[0084] 分别用 $\delta^{13}C$ 为4.00‰和-2707‰ (PDB) 的重碳酸盐添加到经过改良的Hoagland营养液中, 配制成同位素标记1营养液和同位素标记2营养液。将同位素标记1和同位素标记2的示踪剂分别加入到Hoagland营养液中, 营养液中重碳酸盐浓度设置为10mM, pH为8.30, 原始

体积2000ml,同位素标记1的营养液中碳酸氢根离子 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $\delta_{c1}$ ,同位素标记2的营养液中碳酸氢根离子 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $\delta_{c2}$ ;将分别加入同位素标记1的碳酸氢根离子和同位素标记2的碳酸氢根离子配制的培养液,加到无植物的培养容器中,在待测环境下培养,测定同一处理时间下的空白培养系统的溶液体积,以及该系统中两种同位素标记的营养液中稳定碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 值 $\delta_{o_{1i}}$ 和 $\delta_{o_{2i}}$ 值,测定同位素时,取样体积65ml,即为取样体积,计算空白培养容器中剩余的加入的重碳酸盐占溶液中总无机碳的份额 $f_{o_i}$ ,随后计算空白培养系统中的标记的重碳酸盐累积消耗量 $m_i$ 以及来自空气溶解的重碳酸盐累积消耗量 $n_i$ ,再获取空白培养系统中总重碳酸盐的累积消耗量 $a_0$ ,构建不同时间下 $a_0$ 随时间的线性关系模型,获取模型的斜率即为双向同位素示踪空白培养系统中消耗总重碳酸盐的速率 $V_0$ 。

[0085] 将加入同位素标记1的重碳酸盐配制的培养液加到具有待测植物的培养容器中,在待测环境下培养;随后,将该待测植物驯化培养1天,再将加入同位素标记2的重碳酸盐配制的培养液加到具有该待测植物的培养容器中,在待测环境下培养,测定同一处理时间下的待测植物的培养系统中的溶液体积,以及该系统中两种同位素标记的营养液中稳定碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 值 $\delta_{1i}$ 和 $\delta_{2i}$ ,计算待测植物的培养系统中剩余的加入的重碳酸盐占溶液中总无机碳的份额 $f_{bi}$ ,随后计算待测植物的培养系统中的标记的重碳酸盐累积消耗量 $p_i$ ,以及来自空气溶解的重碳酸盐累积消耗量 $q_i$ ,再获取待测植物的培养系统中总重碳酸盐的累积消耗量 $b_0$ ,构建不同时间下 $b_0$ 随时间的线性关系模型,获取模型的斜率即为双向同位素示踪空白培养系统中消耗总重碳酸盐的速率 $V_1$ ,进而获取待测植物吸收利用重碳酸盐的速率 $V_b$ ;测定上述培养结束后的待测植物的植株鲜重 $Fw$ 、根鲜重 $Rfw$ 、地上部鲜重 $Sfw$ 、植株干重 $Dw$ 、根干重 $Rdw$ 和地上部干重 $Sdw$ ;计算出基于植株鲜重 $Fw$ 、根鲜重 $Rfw$ 、地上部鲜重 $Sfw$ 、植株干重 $Dw$ 、根干重 $Rdw$ 和地上部干重 $Sdw$ 的单位质量下的重碳酸盐的利用速率 $V_{FW}$ 、 $V_{RFW}$ 、 $V_{SFW}$ 、 $V_{DW}$ 、 $V_{RDW}$ 和 $V_{SDW}$ 。

[0086] 实施例1植物材料为具有较小根冠比的构树,培养条件正常光照,培养时间48小时;

[0087] 实施例2植物材料为桑树,培养条件正常光照,培养时间48小时;

[0088] 实施例3植物材料为具有较大根冠比的构树,培养条件连续光照,培养时间24小时;

[0089] 实施例4植物材料为具有较大根冠比的构树,培养条件连续黑暗照,培养时间24小时;

[0090] 实施例5植物材料为桑树,培养条件连续光照,培养时间24小时;

[0091] 实施例6植物材料为桑树,培养条件连续黑暗,培养时间24小时。

[0092] 下面以表格的形式展示本发明的过程。

[0093] 表1从双向同位素示踪空白培养系统中获取的同位素值、标记的标记的重碳酸盐累积消耗量和总重碳酸盐累积消耗量等指标

[0094]

样品 次数 (i)	空白 48h 培养时间 (h)	+4.00 ‰ 培养 液 $\delta O_{1i}$ (‰)	-27.07 ‰ 培养 液 $\delta O_{2i}$ (‰)	溶液体 积 $V_{0i}$ (ml)	$f_{0i}$	采样 累积 消耗 (mmol)	$m_i$ (mmol)	$n_i$ (mmol)	$a_0$ (mmol)
样品 1									
0	0	3.89	-26.43	2000.0	0.976	0.000	0.000	0.000	0.000
1	4 光照 4h	4.15	-26.19	1886.8	0.977	0.635	0.456	0.011	0.466
2	8 光照 8h	4.80	-25.38	1773.5	0.971	1.266	1.025	0.030	1.055
3	12 光照 12h	5.13	-24.42	1660.3	0.951	1.884	1.844	0.095	1.939
4	16 黑暗 4h	5.47	-24.14	1547.1	0.953	2.504	2.268	0.112	2.380
5	20 黑暗 8h	5.54	-23.07	1433.9	0.921	3.102	3.210	0.276	3.485
6	24 黑暗 12h	5.67	-22.10	1320.6	0.894	3.683	4.030	0.479	4.509
7	28 光照 4h	6.22	-22.16	1207.4	0.913	4.277	4.210	0.399	4.608
8	32 光照 8h	6.25	-21.19	1094.2	0.883	4.851	5.001	0.661	5.662
9	36 光照 12h	6.84	-19.86	980.9	0.859	5.410	5.677	0.929	6.606
10	40 黑暗 4h	7.02	-18.90	867.7	0.834	5.952	6.324	1.255	7.578
11	44 黑暗 8h	6.97	-18.65	754.5	0.825	6.488	6.805	1.445	8.250
12	48 黑暗 12h	6.97	-17.41	641.2	0.785	6.998	7.485	2.052	9.538
样品 2									
0	0	4.00	-27.06	2000.0	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	4 光照 4h	4.31	-26.13	1887.5	0.980	0.637	0.867	0.018	0.885
2	8 光照 8h	4.43	-25.40	1775.0	0.960	1.261	1.691	0.070	1.761
3	12 光照 12h	5.20	-24.83	1662.5	0.966	1.889	2.037	0.071	2.108

	4	16 黑暗 4h	5.32	-24.57	1550.0	0.962	2.514	2.569	0.102	2.671
	5	20 黑暗 8h	5.28	-23.94	1437.5	0.940	3.125	3.350	0.213	3.563
	6	24 黑暗 12h	4.64	-22.48	1325.0	0.873	3.693	4.734	0.689	5.423
	7	28 光照 4h	5.91	-22.05	1212.5	0.900	4.278	4.803	0.534	5.336
	8	32 光照 8h	5.96	-21.93	1100.0	0.897	4.861	5.259	0.601	5.860
	9	36 光照 12h	6.72	-19.91	987.5	0.857	5.418	6.111	1.019	7.130
	10	40 黑暗 4h	7.07	-20.95	875.0	0.902	6.004	6.097	0.664	6.761
	11	44 黑暗 8h	7.04	-19.88	762.5	0.866	6.568	6.820	1.052	7.872
	12	48 黑暗 12h	7.14	-18.93	650.0	0.839	7.113	7.425	1.423	8.848
	样品 3									
[0095]	0	0	4.00	-26.80	2000.0	0.991	0.000	0.000	0.000	0.000
	1	4 光照 4h	4.25	-26.45	1885.5	0.988	0.642	0.556	0.007	0.563
	2	8 光照 8h	4.40	-25.58	1771.0	0.965	1.269	1.471	0.054	1.524
	3	12 光照 12h	5.13	-24.13	1656.6	0.942	1.881	2.345	0.145	2.491
	4	16 黑暗 4h	5.25	-24.09	1542.1	0.944	2.495	2.769	0.163	2.932
	5	20 黑暗 8h	5.27	-23.78	1427.6	0.935	3.103	3.374	0.234	3.608
	6	24 黑暗 12h	5.47	-22.74	1313.1	0.908	3.693	4.210	0.426	4.637
	7	28 光照 4h	6.00	-21.86	1198.6	0.897	4.276	4.805	0.555	5.360
	8	32 光照 8h	6.30	-21.07	1084.2	0.881	4.849	5.429	0.735	6.164
	9	36 光照 12h	6.71	-20.27	969.7	0.868	5.413	5.994	0.909	6.903
	10	40 黑暗 4h	7.10	-18.75	855.2	0.832	5.954	6.760	1.366	8.126
	11	44 黑暗 8h	6.80	-19.09	740.7	0.833	6.495	7.160	1.433	8.594
	12	48 黑暗 12h	7.39	-16.76	626.2	0.777	7.001	7.959	2.281	10.241

[0096] 表2实施例1中从双向同位素示踪待测植物的培养中获取的同位素值、标记的标记的重碳酸盐累积消耗量和总重碳酸盐累积消耗量等指标

样品次数 (i)	实施例 1 构树 (小根/冠) 培养 48h 培养时间 (h)	+4.00 ‰ 培养液 $\delta_{1i}$ (‰)	-27.07 ‰ 培养液 $\delta_{2i}$ (‰)	溶液体 积 $v_{li}$ (ml)	$f_{Bi}$	采样 累积 消耗 (mmol)	$p_i$ (mmol)	$q_i$ (mmol)	$b_0$ (mmol)	
	样品 1									
[0097]	0	0	4.00	-26.54	2000.0	0.983	0.000	0.000	0.000	0.000
	1	4 光照 4h	3.92	-26.02	1869.5	0.964	0.626	1.021	0.039	1.060
	2	8 光照 8h	4.21	-26.48	1739.0	0.987	1.268	1.223	0.016	1.238
	3	12 光照 12h	4.24	-24.82	1608.4	0.935	1.876	2.745	0.190	2.935
	4	16 黑暗 4h	3.91	-24.37	1477.9	0.910	2.468	3.744	0.370	4.114
	5	20 黑暗 8h	3.17	-23.47	1347.4	0.857	3.025	5.085	0.846	5.931
	6	24 黑暗 12h	3.09	-22.00	1216.9	0.807	3.550	6.288	1.500	7.789
	7	28 光照 4h	2.57	-22.04	1086.4	0.792	4.064	6.995	1.838	8.833
	8	32 光照 8h	1.77	-21.33	955.8	0.743	4.548	8.010	2.765	10.775
	9	36 光照 12h	1.40	-20.28	825.3	0.698	5.001	8.903	3.856	12.758
	10	40 黑暗 4h	1.61	-20.15	694.8	0.700	5.457	9.340	3.995	13.334
	11	44 黑暗 8h	0.96	-18.20	564.3	0.617	5.857	10.326	6.419	16.745

[0098]

12	48 黑暗 12h	1.25	-16.50	433.8	0.571	6.229	10.956	8.222	19.178
样品 2									
0	0	3.98	-26.63	2000.0	0.985	0.000	0.000	0.000	0.000
1	4 光照 4h	3.99	-26.58	1877.9	0.984	0.639	0.591	0.010	0.601
2	8 光照 8h	4.09	-24.33	1755.8	0.915	1.234	2.410	0.225	2.634
3	12 光照 12h	4.51	-24.93	1633.8	0.947	1.850	2.376	0.132	2.508
4	16 黑暗 4h	4.14	-23.73	1511.7	0.897	2.433	3.709	0.425	4.134
5	20 黑暗 8h	3.01	-22.54	1389.6	0.822	2.967	5.311	1.148	6.459
6	24 黑暗 12h	3.45	-21.42	1267.5	0.800	3.487	6.073	1.516	7.590
7	28 光照 4h	3.39	-21.89	1145.4	0.813	4.016	6.370	1.461	7.831
8	32 光照 8h	2.79	-21.24	1023.4	0.773	4.519	7.273	2.133	9.406
9	36 光照 12h	2.58	-20.48	901.3	0.742	5.001	8.012	2.782	10.794
10	40 黑暗 4h	1.86	-20.10	779.2	0.707	5.461	8.736	3.625	12.361
11	44 黑暗 8h	1.49	-18.83	657.1	0.654	5.886	9.519	5.030	14.549
12	48 黑暗 12h	1.29	-18.23	535.0	0.628	6.294	10.049	5.950	15.999
样品 3									
0	0	3.66	-26.80	2000.0	0.980	0.000	0.000	0.000	0.000
1	4 光照 4h	4.08	-26.30	1874.3	0.978	0.635	0.644	0.015	0.659
2	8 光照 8h	4.32	-26.00	1748.5	0.976	1.270	1.269	0.031	1.300
3	12 光照 12h	4.38	-23.51	1622.8	0.898	1.853	3.182	0.363	3.544
4	16 黑暗 4h	4.18	-23.91	1497.0	0.904	2.441	3.628	0.385	4.013
5	20 黑暗 8h	2.95	-23.14	1371.3	0.840	2.987	5.104	0.975	6.079
6	24 黑暗 12h	2.87	-21.29	1245.5	0.778	3.492	6.425	1.837	8.263
7	28 光照 4h	2.30	-21.14	1119.8	0.754	3.982	7.174	2.337	9.511
8	32 光照 8h	2.06	-21.26	994.0	0.750	4.470	7.673	2.551	10.224
9	36 光照 12h	1.85	-20.47	868.3	0.718	4.937	8.430	3.309	11.739
10	40 黑暗 4h	1.31	-18.64	742.5	0.642	5.354	9.480	5.281	14.761
11	44 黑暗 8h	0.93	-17.95	616.8	0.608	5.750	10.105	6.521	16.625
12	48 黑暗 12h	1.33	-16.61	491.0	0.577	6.125	10.643	7.792	18.435

[0099] 表3实施例2中从双向同位素示踪待测植物的培养中获取的同位素值、标记的标记的重碳酸盐累积消耗量和总重碳酸盐累积消耗量等指标

[0100]

样品次数 (i)	实施例 2 桑树 培养 48h 培养时间 (h)	+4.00 ‰ 培养液 $\delta_{1i}$ (‰)	-27.07 ‰ 培养液 $\delta_{2i}$ (‰)	溶液体积 $v_{1i}$ (ml)	$f_{Bi}$	采样累积消耗 (mmol)	$p_i$ (mmol)	$q_i$ (mmol)	$b_0$ (mmol)
样品 1									
0	0	4.67	-23.50	2000.0	0.907	0.000	0.000	0.000	0.000
1	6 光照 6h	4.41	-24.44	1836.5	0.928	0.604	0.483	0.037	0.520
2	12 光照 12h	5.00	-21.55	1672.9	0.855	1.159	2.683	0.457	3.140
3	18 黑暗 18h	6.24	-20.25	1509.4	0.852	1.713	3.557	0.615	4.173
4	24 黑暗 24h	5.67	-19.21	1345.9	0.801	2.234	5.125	1.274	6.400
5	30 光照 30h	4.92	-18.89	1182.4	0.766	2.732	6.347	1.937	8.283

[0101]

6	36 光照 36h	5.34	-17.47	1018.8	0.734	3.209	7.448	2.695	10.143
7	42 黑暗 42h	3.34	-16.42	855.3	0.636	3.622	9.076	5.196	14.272
8	48 黑暗 48h	3.29	-15.16	691.8	0.594	4.008	10.021	6.854	16.875
样品 2									
0	0	4.74	-23.84	2000.0	0.920	0.000	0.000	0.000	0.000
1	6 光照 6h	5.12	-25.27	1842.6	0.978	0.636	-0.261	-0.006	-0.267
2	12 光照 12h	5.85	-23.01	1685.2	0.929	1.240	1.505	0.115	1.620
3	18 黑暗 18h	6.70	-20.62	1527.9	0.879	1.811	3.153	0.433	3.586
4	24 黑暗 24h	6.09	-18.53	1370.5	0.792	2.326	5.215	1.367	6.582
5	30 光照 30h	4.91	-17.59	1213.1	0.724	2.797	6.820	2.599	9.419
6	36 光照 36h	4.66	-17.20	1055.7	0.704	3.254	7.717	3.251	10.968
7	42 黑暗 42h	5.25	-16.47	898.3	0.699	3.709	8.411	3.622	12.033
8	48 黑暗 48h	5.44	-16.54	741.0	0.707	4.168	8.990	3.718	12.708
样品 3									
0	0	4.75	-23.79	2000.0	0.919	0.000	0.000	0.000	0.000
1	6 光照 6h	5.65	-24.82	1832.1	0.981	0.637	-0.230	-0.005	-0.235
2	12 光照 12h	5.67	-21.85	1664.2	0.886	1.213	2.419	0.312	2.731
3	18 黑暗 18h	6.54	-17.82	1496.4	0.784	1.723	4.920	1.357	6.277
4	24 黑暗 24h	6.35	-19.63	1328.5	0.836	2.266	4.996	0.978	5.974
5	30 光照 30h	4.53	-18.61	1160.6	0.745	2.750	6.978	2.392	9.370
6	36 光照 36h	5.05	-18.04	992.7	0.743	3.233	7.764	2.687	10.451
7	42 黑暗 42h	6.20	-15.28	824.8	0.691	3.682	8.988	4.015	13.004
8	48 黑暗 48h	4.90	-17.59	657.0	0.724	4.153	9.463	3.609	13.072

[0102] 表4实施例3中从双向同位素示踪待测植物的培养中获取的同位素值、标记的标记的重碳酸盐累积消耗量和总重碳酸盐累积消耗量等指标

[0103]

样品次数 (i)	实施例3 构树 (大根/冠) 培养 24h 连续光照培养时间 (h)	+4.00‰ 培养液 $\delta_{1i}$ (‰)	-27.07‰ 培养液 $\delta_{2i}$ (‰)	溶液体积 $v_{1i}$ (ml)	$f_{Bi}$	采样累积消耗 (mmol)	$P_i$ (mmol)	$Q_i$ (mmol)	$b_0$ (mmol)
样品 1									
0	0	3.61	-27.00	2000.0	0.985	0.000	0.000	0.000	0.000
1	12	4.05	-25.29	1700.0	0.944	0.614	3.035	0.179	3.214
2	14	3.91	-25.07	1595.8	0.933	1.220	3.600	0.260	3.860
3	16	3.40	-24.76	1491.7	0.906	1.809	4.375	0.453	4.827
4	18	3.41	-24.42	1387.5	0.896	2.391	4.881	0.568	5.449
5	20	3.46	-24.27	1283.3	0.893	2.971	5.276	0.635	5.912
6	22	3.09	-23.95	1179.2	0.870	3.537	5.901	0.878	6.779
7	24	2.98	-23.89	1075.0	0.865	4.099	6.304	0.984	7.289
样品 2									



[0104]

0	0	3.91	-27.47	2000.0	1.010	0.000	0.000	0.000	0.000
1	12	3.94	-25.35	1676.9	0.943	0.613	3.779	0.230	4.009
2	14	3.74	-24.98	1568.9	0.924	1.214	4.484	0.367	4.851
3	16	3.77	-24.81	1460.8	0.920	1.811	4.948	0.431	5.378
4	18	3.44	-24.33	1352.8	0.894	2.392	5.716	0.680	6.396
5	20	3.24	-24.07	1244.8	0.879	2.964	6.295	0.868	7.162
6	22	3.05	-23.61	1136.8	0.858	3.521	6.922	1.145	8.067
7	24	2.81	-23.42	1028.8	0.844	4.070	7.446	1.376	8.822
样品 3									
0	0	3.88	-27.27	2000.0	1.003	0.000	0.000	0.000	0.000
1	12	3.65	-25.24	1718.8	0.930	0.604	3.471	0.263	3.734
2	14	3.51	-24.78	1617.7	0.911	1.196	4.128	0.405	4.533
3	16	3.15	-25.12	1516.7	0.910	1.788	4.468	0.443	4.910
4	18	2.68	-24.03	1415.6	0.860	2.346	5.538	0.904	6.443
5	20	2.56	-23.79	1314.6	0.848	2.897	6.009	1.078	7.087
6	22	2.28	-23.38	1213.6	0.826	3.434	6.596	1.390	7.986
7	24	1.89	-22.88	1112.5	0.797	3.952	7.233	1.841	9.074

[0105] 表5实施例4中从双向同位素示踪待测植物的培养中获取的同位素值、标记的标记的重碳酸盐累积消耗量和总重碳酸盐累积消耗量等指标

[0106]

样品次数 (i)	实施例4桑树培养24h连续光照培养时间 (h)	+4.00‰ 培养液 $\delta_{1i}$ (‰)	-27.07‰ 培养液 $\delta_{2i}$ (‰)	溶液体积 $v_{li}$ (ml)	$f_{Bi}$	采样累积消耗 (mmol)	$P_i$ (mmol)	$Q_i$ (mmol)	$b_0$ (mmol)
样品 1									
0	0	3.96	-26.85	2000.0	0.992	0.000	0.000	0.000	0.000
1	12	4.43	-25.19	1661.9	0.953	0.620	3.373	0.165	3.538
2	14	4.32	-24.83	1551.4	0.938	1.230	4.052	0.267	4.319
3	16	4.29	-24.47	1440.8	0.926	1.831	4.670	0.376	5.046
4	18	4.10	-24.06	1330.3	0.906	2.420	5.364	0.556	5.920
5	20	3.13	-23.70	1219.8	0.864	2.981	6.321	0.999	7.320
6	22	3.83	-23.54	1109.3	0.881	3.554	6.510	0.880	7.390
7	24	3.77	-23.17	998.8	0.867	4.118	7.059	1.082	8.140
样品 2									
0	0	4.20	-27.08	2000.0	1.007	0.000	0.000	0.000	0.000
1	12	4.55	-25.18	1685.6	0.957	0.622	3.385	0.153	3.538
2	14	4.45	-24.82	1579.1	0.942	1.234	4.026	0.248	4.273
3	16	4.46	-24.63	1472.5	0.936	1.843	4.504	0.306	4.810
4	18	4.47	-24.15	1365.9	0.921	2.442	5.112	0.438	5.550
5	20	4.15	-23.74	1259.4	0.898	3.025	5.804	0.661	6.465

[0107]

6	22	4.08	-23.39	1152.8	0.884	3.600	6.342	0.831	7.173
7	24	3.98	-23.12	1046.3	0.872	4.167	6.844	1.004	7.849
样品 3									
0	0	4.02	-26.93	2000.0	0.996	0.000	0.000	0.000	0.000
1	12	4.27	-25.26	1660.0	0.950	0.618	3.526	0.184	3.710
2	14	3.97	-25.02	1549.2	0.933	1.224	4.239	0.304	4.543
3	16	4.21	-24.70	1438.3	0.930	1.829	4.710	0.353	5.064
4	18	4.10	-24.25	1327.5	0.912	2.422	5.386	0.518	5.904
5	20	3.56	-23.99	1216.7	0.887	2.998	6.133	0.784	6.917
6	22	3.30	-23.63	1105.9	0.867	3.562	6.771	1.039	7.810
7	24	2.94	-23.36	995.0	0.846	4.112	7.385	1.339	8.724

[0108] 表6实施例5中从双向同位素示踪待测植物的培养中获取的同位素值、标记的标记的重碳酸盐累积消耗量和总重碳酸盐累积消耗量等指标

[0109]

样品次数 (i)	实施例 5 构树 (大根/冠) 培养 24h 连续黑暗培养时间 (h)	+4.00‰ 培养液 $\delta_{1i}$ (‰)	-27.07‰ 培养液 $\delta_{2i}$ (‰)	溶液体积 $v_{1i}$ (ml)	$f_{Bi}$	采样累积消耗 (mmol)	$p_i$ (mmol)	$q_i$ (mmol)	$b_0$ (mmol)
样品 1									
0	0	3.82	-27.27	2000.0	1.001	0.000	0.000	0.000	0.000
1	12	3.93	-25.49	1754.1	0.947	0.616	2.787	0.156	2.943
2	14	4.36	-25.167	1659.0	0.950	1.233	3.015	0.158	3.173
3	16	3.97	-24.08	1563.8	0.903	1.820	4.074	0.438	4.512
4	18	3.88	-24.637	1468.7	0.918	2.417	4.116	0.369	4.485
5	20	3.48	-24.25	1373.5	0.893	2.997	4.757	0.573	5.329
6	22	3.12	-23.99	1278.4	0.872	3.564	5.295	0.774	6.069
7	24	2.69	-23.96	1183.2	0.858	4.121	5.743	0.953	6.696
样品 2									
0	0	3.57	-27.24	2000.0	0.992	0.000	0.000	0.000	0.000
1	12	4.76	-25.74	1772.5	0.982	0.638	1.800	0.034	1.834
2	14	3.93	-25.10	1680.4	0.934	1.245	2.894	0.204	3.098
3	16	4.67	-24.52	1588.3	0.939	1.856	3.060	0.197	3.257
4	18	3.92	-24.80	1496.3	0.924	2.457	3.554	0.292	3.846
5	20	4.07	-24.20	1404.2	0.910	3.048	4.017	0.399	4.416
6	22	3.81	-24.04	1312.1	0.896	3.630	4.447	0.515	4.961
7	24	2.84	-23.75	1220.0	0.856	4.187	5.210	0.878	6.088
样品 3									
0	0	3.75	-27.30	2000.0	0.999	0.000	0.000	0.000	0.000
1	12	3.97	-25.44	1769.9	0.947	0.615	2.615	0.148	2.762
2	14	4.27	-24.69	1677.4	0.932	1.221	3.132	0.229	3.361
3	16	4.32	-24.62	1584.8	0.931	1.826	3.398	0.251	3.649

[0110]

4	18	3.87	-24.15	1492.3	0.902	2.413	4.113	0.448	4.561
5	20	3.83	-24.24	1399.8	0.904	3.000	4.336	0.463	4.799
6	22	3.82	-23.81	1307.3	0.889	3.578	4.783	0.596	5.379
7	24	2.34	-23.37	1214.8	0.827	4.116	5.818	1.214	7.032

[0111] 表7实施例6中从双向同位素示踪待测植物的培养中获取的同位素值、标记的标记的重碳酸盐累积消耗量和总重碳酸盐累积消耗量等指标

[0112]

样品次数 (i)	实施例 6 桑树 培养 24h 连续黑暗培 养时间 (h)	+4.00‰ 培养液 $\delta_{1i}$ (‰)	-27.07‰ 培养液 $\delta_{2i}$ (‰)	溶液体 积 $v_{1i}$ (ml)	$f_{Bi}$	采样累 积消耗 (mmol)	$P_i$ (mmol)	$q_i$ (mmol)	$b_0$ (mmol)
样品 1									
0	0	3.80	-26.97	2000.0	0.990	0.000	0.000	0.000	0.000
1	12	4.20	-25.86	1780.0	0.968	0.629	1.955	0.066	2.020
2	14	4.40	-25.80	1689.2	0.972	1.261	2.126	0.061	2.187
3	16	3.09	-25.35	1598.3	0.915	1.856	3.321	0.307	3.629
4	18	4.22	-25.62	1507.5	0.960	2.480	2.848	0.117	2.965
5	20	3.92	-24.91	1416.7	0.928	3.083	3.575	0.277	3.852
6	22	4.18	-24.47	1325.9	0.922	3.683	3.897	0.329	4.225
7	24	3.88	-24.44	1235.0	0.912	4.275	4.273	0.414	4.687
样品 2									
0	0	3.85	-27.10	2000.0	0.996	0.000	0.000	0.000	0.000
1	12	4.40	-25.64	1764.0	0.967	0.628	2.240	0.077	2.317
2	14	4.21	-25.66	1670.5	0.961	1.253	2.611	0.105	2.716
3	16	4.04	-25.89	1577.0	0.963	1.879	2.854	0.109	2.963
4	18	4.07	-25.20	1483.5	0.942	2.492	3.456	0.212	3.668
5	20	3.90	-24.87	1390.0	0.926	3.094	3.959	0.317	4.276
6	22	3.46	-24.41	1296.5	0.897	3.677	4.618	0.531	5.149
7	24	3.49	-24.37	1203.0	0.896	4.259	4.879	0.563	5.443
样品 3									
0	0	3.85	-27.72	2000.0	1.016	0.000	0.000	0.000	0.000
1	12	4.33	-25.64	1787.0	0.964	0.627	2.455	0.090	2.545
2	14	4.27	-25.64	1697.3	0.963	1.253	2.724	0.105	2.829
3	16	4.17	-25.22	1607.7	0.946	1.868	3.243	0.185	3.429
4	18	3.69	-24.93	1518.0	0.921	2.466	3.870	0.332	4.201
5	20	3.83	-24.72	1428.3	0.919	3.063	4.129	0.364	4.494
6	22	3.57	-24.58	1338.7	0.906	3.652	4.537	0.471	5.008
7	24	3.15	-24.21	1249.0	0.880	4.225	5.097	0.692	5.789

[0113] 表8空白及各实施例中总重碳酸盐的累积消耗量 ( $a_0$ 、 $b_0$ ) 与时间的关系模型

[0114]

实施例	样品号	方程	$V_0/V_1$	$R^2$	n
空白	1	$Y=0.1848X$	0.1848	0.9861	13

[0115]

空白	2	$Y=0.1848X$	0.1848	0.9802	13
空白	3	$Y=0.1986X$	0.1986	0.9921	13
平均值			0.1893		
实施例 1	1	$Y=0.3522X$	0.3522	0.9636	13
实施例 1	2	$Y=0.3118X$	0.3118	0.9820	13
实施例 1	3	$Y=0.3522X$	0.3522	0.9711	13
实施例 2	1	$Y=0.3122X$	0.3122	0.9537	9
实施例 2	2	$Y=0.2768X$	0.2768	0.9480	9
实施例 2	3	$Y=0.2885X$	0.2885	0.9480	9
实施例 3	1	$Y=0.2984X$	0.2984	0.9919	8
实施例 3	2	$Y=0.3570X$	0.3570	0.9941	8
实施例 3	3	$Y=0.3521X$	0.3521	0.9758	8
实施例 4	1	$Y=0.3339X$	0.3339	0.9822	8
实施例 4	2	$Y=0.3171X$	0.3171	0.9929	8
实施例 4	3	$Y=0.3424X$	0.3424	0.9847	8
实施例 5	1	$Y=0.2662X$	0.2662	0.9788	8
实施例 5	2	$Y=0.2228X$	0.2228	0.9448	8
实施例 5	3	$Y=0.2537X$	0.2537	0.9571	8
实施例 6	1	$Y=0.1886X$	0.1886	0.9465	8
实施例 6	2	$Y=0.2137X$	0.2137	0.9684	8
实施例 6	3	$Y=0.2267X$	0.2267	0.9855	8

[0116] 表9不同实施例不同样品的生物量 (g)

[0117]

		植株鲜重	植株干重	根鲜重	地上部鲜重	根干重	地上部干重
实施例 1	1	35.03	9.70	11.09	23.94	2.62	7.08
实施例 1	2	34.14	8.95	11.46	22.68	2.90	6.05
实施例 1	3	34.17	9.10	13.08	21.09	3.11	5.99
实施例 2	1	19.94	4.95	5.05	14.89	0.98	3.97
实施例 2	2	16.89	4.49	4.76	12.13	0.99	3.50
实施例 2	3	18.84	4.70	4.60	14.24	0.85	3.85

[0118]

实施例 3	1	66.71	18.49	35.81	30.90	8.24	10.25
实施例 3	2	68.35	20.20	33.18	35.17	8.40	11.80
实施例 3	3	65.66	21.15	33.73	31.93	9.11	12.04
实施例 4	1	79.66	22.51	36.98	42.68	9.35	13.16
实施例 4	2	71.39	19.27	37.70	33.69	8.97	10.30
实施例 4	3	49.51	14.45	24.09	25.42	6.56	7.89
实施例 5	1	18.33	4.01	4.92	13.41	0.83	3.18
实施例 5	2	17.8	3.90	4.76	13.04	0.78	3.12
实施例 5	3	19.49	4.29	5.02	14.47	0.84	3.45
实施例 6	1	15.83	3.90	5.64	10.19	1.16	2.74
实施例 6	2	20.53	5.10	6.72	13.81	1.50	3.59
实施例 6	3	16.56	3.93	6.05	10.51	1.19	2.74

[0119] 表十不同实施例不同样品的单位质量下的重碳酸盐的利用速率 $V_{FW}$ 、 $V_{RFW}$ 、 $V_{SFW}$ 、 $V_{DW}$ 、 $V_{RDW}$ 和 $V_{SDW}$  ( $\mu\text{mol/h.g}$ )

[0120]

		$V_{FW}$ ( $\mu\text{mol/h.g}$ FW)	$V_{DW}$ ( $\mu\text{mol/h.g}$ DW)	$V_{RFW}$ ( $\mu\text{mol/h.g}$ FW)	$V_{SFW}$ ( $\mu\text{mol/h.g}$ FW)	$V_{RDW}$ ( $\mu\text{mol/h.g}$ g DW)	$V_{SDW}$ ( $\mu\text{mol/h.g}$ DW)
实施例 1	1	4.65	16.79	14.69	6.80	62.23	23.00
实施例 1	2	3.59	13.69	10.68	5.40	42.21	20.25
实施例 1	3	4.77	17.90	12.46	7.72	52.37	27.20
<b>实施例 1</b>	<b>平均</b>	<b>4.34</b>	<b>16.13</b>	<b>12.61</b>	<b>6.64</b>	<b>52.27</b>	<b>23.48</b>
实施例 2	1	6.16	24.83	24.32	8.26	125.17	30.97
实施例 2	2	5.18	19.49	18.37	7.22	88.24	25.01
实施例 2	3	5.27	21.11	21.56	6.97	117.28	25.74
<b>实施例 2</b>	<b>平均</b>	<b>5.54</b>	<b>21.81</b>	<b>21.42</b>	<b>7.48</b>	<b>110.23</b>	<b>27.24</b>
实施例 3	1	1.64	5.90	3.05	3.53	13.24	10.64
实施例 3	2	2.45	8.30	5.05	4.77	19.97	14.21
实施例 3	3	2.48	7.70	4.83	5.10	17.88	13.52
<b>实施例 3</b>	<b>平均</b>	<b>2.19</b>	<b>7.3</b>	<b>4.31</b>	<b>4.47</b>	<b>17.03</b>	<b>12.79</b>
实施例 4	1	0.97	3.42	2.08	1.80	8.23	5.84

	实施例 4	2	0.47	1.74	0.89	0.99	3.73	3.25
	实施例 4	3	1.30	4.46	2.67	2.53	9.82	8.16
	<b>实施例 4</b>	<b>平均</b>	<b>0.91</b>	<b>3.21</b>	<b>1.88</b>	<b>1.77</b>	<b>7.26</b>	<b>5.75</b>
	实施例 5	1	7.89	36.06	29.37	10.79	174.19	45.47
	实施例 5	2	7.18	32.77	26.88	9.80	163.77	40.97
[0121]	实施例 5	3	7.86	35.69	30.51	10.58	183.33	44.31
	<b>实施例 5</b>	<b>平均</b>	<b>7.64</b>	<b>34.84</b>	<b>28.92</b>	<b>10.39</b>	<b>173.76</b>	<b>43.58</b>
	实施例 6	1	-0.04	-0.18	-0.12	-0.07	-0.61	-0.26
	实施例 6	2	1.19	4.78	3.63	1.77	16.22	6.79
	实施例 6	3	2.26	9.52	6.18	3.56	31.35	13.66
	<b>实施例 6</b>	<b>平均</b>	<b>1.14</b>	<b>4.71</b>	<b>3.23</b>	<b>1.75</b>	<b>15.65</b>	<b>6.73</b>

[0122] 本发明的实施效果如下：

[0123] 从表8中可以看出，各实施例各样品均具有极好的线性正比关系，相关系数的平方值均超出0.94，表明本发明所获取的结果是可信的。从表10中可以看出，不同植物种类吸收利用重碳酸盐的能力是不同的。构树吸收利用重碳酸盐的能力小于桑树，光照能促进重碳酸盐的利用，这与构树是喀斯特适生植物的实际相符的。因为重碳酸盐具有较大的碱性，吸收过多又不被植物利用，势必会对植物造成伤害，因此构树不仅吸收的重碳酸盐小于桑树，而且吸收后的重碳酸盐可以作为碳源供光合器官的利用，进一步减少重碳酸盐对植物的伤害。同时，光下能促进植物吸收利用重碳酸盐，表明重碳酸盐的吸收通过木质部随蒸腾液流输送到地上部和叶片，这也是与现有的知识相符的。构树以适量的吸收，大量的利用，大大减少了伤害，同时也作为无机碳源被植物利用，这就是构树的喀斯特适生性的重要体现。而桑树很难在喀斯特环境下生长，这与它高吸收，少利用的特性有关，这也与实际相符的。构树对较高的重碳酸盐有适应性，可能也与它适量吸收，大量利用的特性有关。

[0124] 构树的吸收重碳酸盐少的另一个事实是，构树在高pH、高重碳酸盐的胁迫下，会分泌（产生）出比桑树多得多的有机酸类分泌物，降低了维管束环境中的pH，造成重碳酸盐吸收的减少。

[0125] 根冠比大的构树类型，具有与根冠比小的植株类型更好的喀斯特适生性，这也为本发明测出的结果所验证，因为根冠比大的植物类型吸收利用的重碳酸盐要少于根冠比小的植株类型，这样由于按量摄入，致使体内很少有游离的重碳酸盐，使重碳酸盐的毒害降低到微乎其微。通过测定植物的吸收利用以及无机碳同化特性，可以判别出植物的喀斯特适生性。

[0126] 所述实施例为本发明的优选的实施方式，但本发明并不限于上述实施方式，在不背离本发明的实质内容的前提下，本领域技术人员能够做出的任何显而易见的改进、替换或变型均属于本发明的保护范围。