



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108508156 B

(45)授权公告日 2019.10.29

(21)申请号 201810313289.0

审查员 帅丽

(22)申请日 2018.04.09

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 108508156 A

(43)申请公布日 2018.09.07

(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 饶森 吴沿胜 方蕾

苏跃 李环 王瑞 梁小兵

(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 33/00(2006.01)

权利要求书1页 说明书11页

(54)发明名称

一种获取野外生境下植物无机碳总同化能力的方法

(57)摘要

本发明公开了一种获取野外生境下植物无机碳总同化能力的方法,属于农作物信息检测技术、植物生理信息检测技术以及生态环境治理领域,依据植物叶片完全同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值与实际同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值;计算植物叶片实际同化二氧化碳的份额,依据便携式光合仪测得的实际二氧化碳同化能力,换算出植物无机碳总同化能力。本发明不仅能够快速、便捷、精确、实时获取野外生境下不同苗龄不同生育期的植物利用大气二氧化碳利用份额,同时也能获取野外生境下植物利用重碳酸盐的能力。

1. 一种获取野外生境下植物无机碳总同化能力的方法,其特征包括:

步骤一,选择在被考察的环境下生长的植物新枝上的第二展开叶的叶片,在晴朗天气下,利用便携式光合仪分别测定上午9:00-10:00的光合参数;

步骤二,从便携式光合仪中获取净光合速率Pn的数据;

步骤三,随后,再从便携式光合仪中获取胞外大气二氧化碳浓度Ca和胞间二氧化碳浓度Ci的数据,计算植物叶片胞间二氧化碳浓度Ci与胞外大气二氧化碳浓度Ca的比值k;

步骤四,选择在被考察的环境下生长的植物新枝上的第一展开叶的叶片,利用常规方法测定植物叶片的稳定碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 的值,记为 δ_{T} ;

步骤五,按常规方法获取被考察环境大气二氧化碳稳定碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值,记为 δ_{a} ;

步骤六,依据植物叶片胞间二氧化碳浓度Ci与胞外大气二氧化碳浓度Ca的比值k,计算在被考察的环境下生长的植物叶片完全同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δca ;

步骤七,依据在被考察的环境下生长的植物叶片的稳定碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 的值 δ_{T} 、被考察环境大气二氧化碳稳定碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值 δ_{a} ,计算在被考察的环境下生长的植物叶片实际同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δaa ;

步骤八,依据在被考察的环境下生长的植物叶片完全同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δca 与实际同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δaa ,计算在被考察的环境下生长的植物叶片实际同化二氧化碳的份额f;步骤八所述的在被考察的环境下生长的植物叶片实际同化二氧化碳的份额f的计算方法为:

$$f = \frac{\Delta \text{aa} - \Delta \text{ca} + 14.3\text{‰}}{14.3\text{‰}};$$

步骤九,依据在被考察的环境下生长的植物叶片实际同化二氧化碳的份额f和净光合速率Pn的数据,获取植物无机碳总同化能力TPn。

2. 根据权利要求1所述的一种获取野外生境下植物无机碳总同化能力的方法,其特征是:在第一步骤中,所述植物新枝上的第二展开叶的叶片是依据从上往下的原则,以新枝上刚刚发育完全且完全展开的叶为第一完全展开叶,依次类推;分别为第二完全展开叶、第三完全展开叶。

3. 根据权利要求1所述的一种获取野外生境下植物无机碳总同化能力的方法,特征在于:步骤三中所述的植物叶片胞间二氧化碳浓度Ci与胞外大气二氧化碳浓度Ca的比值k,计算方法为: $k = \frac{C_i}{C_a}$ 。

4. 根据权利要求1所述的一种获取野外生境下植物无机碳总同化能力的方法,其特征是:步骤六中所述的在被考察的环境下生长的植物叶片同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δca 的计算方法为: $\Delta \text{ca} = 4.4\text{‰} + (D - 4.4\text{‰})k$,其中,D为Rubsico羧化作用时对无机碳的分馏,依据植物的不同取值不同,范围为27‰~29‰。

5. 根据权利要求1所述的一种获取野外生境下植物无机碳总同化能力的方法,其特征是:在第七步骤中,在被考察的环境下生长的植物叶片实际同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δaa 的计算方法为: $\Delta \text{aa} = \delta_{\text{a}} - \delta_{\text{T}}$ 。

6. 根据权利要求1所述的一种获取野外生境下植物无机碳总同化能力的方法,其特征是:步骤九所述的取植物无机碳总同化能力TPn的计算方法为: $\text{TPn} = \frac{P_n}{f}$ 。

一种获取野外生境下植物无机碳总同化能力的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及农作物信息检测技术、植物生理信息检测技术以及生态环境治理领域,特别是涉及一种获取野外生境下植物无机碳总同化能力的方法,无需繁琐地培养植物和省却了易受空气的二氧化碳影响的土壤碳酸氢根离子稳定碳同位素测定步骤,就可实时测定不同苗龄不同生育期的植物无机碳总同化能力,为喀斯特适生植物的筛选提供科学依据。

背景技术

[0002] 近年来,众多的实验已经证明,植物不仅能利用大气中的二氧化碳作为底物进行光合作用,而且也可以利用来自于土壤的重碳酸盐。尤其在具有高浓度的重碳酸盐的喀斯特石灰岩地区,仅用基于测定大气二氧化碳通量的光合仪来测定植物的无机碳同化能力,严重地低估了喀斯特地区植物的生产力。

[0003] 不同植物在同一条件下不仅具有不同的同化二氧化碳的能力,而且也具有不同的其他形式的无机碳的利用能力,同一植物在不同环境下,无机碳的同化能力也差异较大。尽管,我们已开发了能够测定实验室培养的植物的总光合碳同化能力的方法(ZL201510482616.1),但是,这个方法都难以实时测定不同环境下不同苗龄不同生育期的植物总光合碳同化能力,因此,准确测定不同环境下不同苗龄不同生育期的植物总光合碳同化能力,对正确评估植物的生产力,筛选高生产力的喀斯特适生植物品种,用喀斯特适生植物来治理和恢复脆弱的喀斯特生态环境具有重要的作用。

发明内容

[0004] 本发明要解决的技术问题是,提供一种获取野外生境下植物无机碳总同化能力的方法,不仅无需繁琐地培养植物和省却了易受空气的二氧化碳影响的土壤碳酸氢根离子稳定碳同位素测定步骤,就可实时测定不同苗龄不同生育期的植物无机碳总同化能力,而且还克服了现有技术不能批量获取植物无机碳总同化能力的信息缺陷。

[0005] 本发明采取以下技术方案:它包括以下步骤:

[0006] 步骤一,选择在被考察的环境下生长的植物新枝上的第二展开叶的叶片,在晴朗天气下,利用便携式光合仪分别测定上午9:00-10:00的光合参数;所谓植物新枝上的第二展开叶的叶片是依据从上往下的原则,以新枝上刚刚发育完全且完全展开的叶为第一完全展开叶,依次类推;分别为第二完全展开叶、第三完全展开叶;

[0007] 步骤二,从便携式光合仪中获取净光合速率 P_n 的数据;

[0008] 步骤三,随后,再从便携式光合仪中获取胞外大气二氧化碳浓度 C_a 和胞间二氧化碳浓度 C_i 的数据,计算植物叶片胞间二氧化碳浓度 C_i 与胞外大气二氧化碳浓度 C_a 的比值 k ,

计算方法为: $k = \frac{C_i}{C_a}$;

[0009] 步骤四,选择在被考察的环境下生长的植物新枝上的第一展开叶的叶片,利用常规方法测定植物叶片的稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 的值,记为 δ_T ;

[0010] 步骤五,按常规方法获取被考察环境大气二氧化碳稳定碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值,记为 δ_a ;

[0011] 步骤六,依据植物叶片胞间二氧化碳浓度 C_i 与胞外大气二氧化碳浓度 C_a 的比值 k ,计算在被考察的环境下生长的植物叶片完全同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δca ,计算方法为: $\Delta ca = 4.4\% + (D - 4.4\%)k$,其中, D 为Rubsico羧化作用时对无机碳的分馏,依据植物的不同取值不同,范围为27%~29%;

[0012] 步骤七,依据在被考察的环境下生长的植物叶片的稳定碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 的值 δ_T 、被考察环境大气二氧化碳稳定碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值 δ_a ,计算在被考察的环境下生长的植物叶片实际同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δaa ,计算方法为: $\Delta aa = \delta_a - \delta_T$;

[0013] 步骤八,依据在被考察的环境下生长的植物叶片完全同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δca 与实际同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δaa ,计算在被考察的环境下生长的植物叶片实际同化二氧化碳的份额 f ,计算方法为: $f = \frac{\Delta aa - \Delta ca + 14.3\%}{14.3\%}$;

[0014] 步骤九,依据在被考察的环境下生长的植物叶片实际同化二氧化碳的份额 f 和净光合速率 P_n 的数据,获取植物无机碳总同化能力 TP_n ,计算方法为: $TP_n = \frac{P_n}{f}$ 。

[0015] 本发明的基本原理为:

[0016] 稳定碳同位素的强烈分馏特征是识别植物体内不同无机碳源的基础。自然界中碳元素有两种稳定同位素: ^{12}C 和 ^{13}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植物体内不同无机碳来源。质量平衡原理以及同位素混合模型和化学计量学方法,是定量识别植物体内不同无机碳来源的基础。

[0017] 植物在行使 C_3 途径时,叶片对空气二氧化碳的分馏 Δca 满足下列关系(1)。

$$[0018] \quad \Delta ca = a + (D - a) (C_i / C_a) \quad (1)$$

[0019] 式(1)中, C_i 为胞间二氧化碳浓度, C_a 为空气中的二氧化碳浓度, a 为气孔扩散作用时对无机碳的分馏,取值4.4‰, D 为Rubsico羧化作用时对无机碳的分馏,依据植物的不同取值不同,范围为27%~29%;令 $k = \frac{C_i}{C_a}$,将以上已知参数代入(1)式得:

$$[0020] \quad \Delta ca = 4.4\% + (D - 4.4\%)k \quad (2)$$

[0021] 由此可以看出,(2)式表征的是 C_3 植物完全同化空气中的二氧化碳时对无机碳的分馏值。但实际上,植物不仅利用来自空气中的二氧化碳,而且还利用来自于根部的碳酸氢根离子。二氧化碳水解成碳酸氢根离子时的无机碳分馏为-9.9‰,而且体内的碳酸氢根离子被利用时是没有造成4.4‰同位素分馏的扩散过程的,因此,叶片对来自根部的重碳酸盐的无机碳的分馏值 Δb 满足下列关系(3)。

$$[0022] \quad \Delta b = \Delta ca - 14.3\% \quad (3)$$

[0023] 假定植物利用空气中的二氧化碳的份额为 f ,植物叶片实际同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δaa ,因此 f 与 Δaa 则满足如下关系:

$$[0024] \quad \Delta aa = f \Delta ca + (1 - f) (\Delta ca - 14.3\%) \quad (4)$$

[0025] (4)式可以变成(5)式:

$$[0026] \quad f = \frac{\Delta_{aa} - \Delta_{ca} + 14.3\text{‰}}{14.3\text{‰}} \quad (5)$$

[0027] 获取胞间二氧化碳浓度 C_i 、空气中的二氧化碳浓度 C_a 和稳定碳同位素比值 δ_a 、植物叶片的稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 的值 δ_T 即可计算植物利用空气中的二氧化碳的份额。植物无机碳总同化能力 TP_n 的计算方法为： $TP_n = \frac{P_n}{f}$ 。

[0028] 本发明的优点如下：

[0029] 本发明依据植物叶片完全同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值与实际同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值，计算植物叶片实际同化二氧化碳的份额，依据便携式光合仪测得的实际二氧化碳同化能力，换算出植物无机碳总同化能力。

[0030] 1) 本发明能够获取野外生境下植物完全利用大气二氧化碳的稳定碳同位素分馏值。

[0031] 2) 本发明可快速、便捷、精确、实时测定不同苗龄不同生育期的植物无机碳总同化能力。

[0032] 3) 本发明不仅省却了易受空气的二氧化碳影响的土壤碳酸氢根离子稳定碳同位素测定步骤和繁琐地培养植物的过程，而且还可以批量获取植物无机碳总同化能力信息。

[0033] 4) 本发明还可为碳汇精确地估算提供科学依据，为植物的环境适应性研究提供科学方法。

具体实施方式

[0034] 本发明的实施例：它包括以下步骤，

[0035] 步骤一，选择在被考察的环境下生长的植物新枝上的第二展开叶的叶片，在晴朗天气下，利用便携式光合仪分别测定上午9:00-10:00的光合参数；所谓植物新枝上的第二展开叶的叶片是依据从上往下的原则，以新枝上刚刚发育完全且完全展开的叶为第一完全展开叶，依次类推；分别为第二完全展开叶、第三完全展开叶；

[0036] 步骤二，从便携式光合仪中获取净光合速率 P_n 的数据；

[0037] 步骤三，随后，再从便携式光合仪中获取胞外大气二氧化碳浓度 C_a 和胞间二氧化碳浓度 C_i 的数据，计算植物叶片胞间二氧化碳浓度 C_i 与胞外大气二氧化碳浓度 C_a 的比值 k ，计算方法为： $k = \frac{C_i}{C_a}$ ；

[0038] 步骤四，选择在被考察的环境下生长的植物新枝上的第一展开叶的叶片，利用常规方法测定植物叶片的稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 的值，记为 δ_T ；

[0039] 步骤五，按常规方法获取被考察环境大气二氧化碳稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 的平均值，记为 δ_a ；

[0040] 步骤六，依据植物叶片胞间二氧化碳浓度 C_i 与胞外大气二氧化碳浓度 C_a 的比值 k ；计算在被考察的环境下生长的植物叶片完全同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δ_{ca} ，计算方法为： $\Delta_{ca} = 4.4\text{‰} + (D - 4.4\text{‰})k$ ，其中， D 为Rubsico羧化作用时对无机碳的分馏，依据植物的不同取值不同，范围为27‰~29‰；

[0041] 步骤七，依据在被考察的环境下生长的植物叶片的稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 的值 δ_T 、被考察环境大气二氧化碳稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 的平均值 δ_a ，计算在被考察的环境下生长

的植物叶片实际同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δ_{aa} , 计算方法为: $\Delta_{aa} = \delta_a - \delta_T$;

[0042] 步骤八, 依据在被考察的环境下生长的植物叶片完全同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δ_{ca} 与实际同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δ_{aa} , 计算在被考察的环境下生长的植物叶片实际同化二氧化碳的份额 f , 计算方法为: $f = \frac{\Delta_{aa} - \Delta_{ca} + 14.3\text{‰}}{14.3\text{‰}}$;

[0043] 步骤九, 依据在被考察的环境下生长的植物叶片实际同化二氧化碳的份额 f 和净光合速率 P_n 的数据, 获取植物无机碳总同化能力 TP_n , 计算方法为: $TP_n = \frac{P_n}{f}$ 。详细实施过程及内容如下:

[0044] 1) 贵阳市将军山七月份三个区域喜树无机碳总同化能力的确定:

[0045] 将生长在贵阳市将军山的七月份三个区域喜树作为研究对象, 在晴朗天气下, 利用便携式光合仪用分别测定上午9:00-10:00的植物新枝上的第二展开叶的叶片的光合参数; 从便携式光合仪中读取净光合速率 P_n , 同时还读取胞外大气二氧化碳浓度 C_a 和胞间二氧化碳浓度 C_i 的数据, 计算植物叶片胞间二氧化碳浓度 C_i 与胞外大气二氧化碳浓度 C_a 的比值 k , 如表1; 同时测定植物新枝上的第一展开叶的叶片的稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 的值 δ_T , 如表1; 同时获取被考察环境大气二氧化碳稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 的平均值 δ_a , 如表1; 依据植物叶片胞间二氧化碳浓度 C_i 与胞外大气二氧化碳浓度 C_a 的比值 k ; 计算植物叶片完全同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δ_{ca} , 如表2; 计算方法为: $\Delta_{ca} = 4.4\text{‰} + (D - 4.4\text{‰})k$, 其中, D 的取值为27‰; 随后, 依据喜树叶片的稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 的值 δ_T 、大气二氧化碳稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 的平均值 δ_a , 计算喜树叶片实际同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δ_{aa} , 如表2; 再者, 依据喜树叶片完全同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δ_{ca} 、实际同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δ_{aa} , 计算喜树叶片实际同化二氧化碳的份额 f , 如表2。最后, 依据喜树叶片实际同化二氧化碳的份额 f 和净光合速率 P_n 的数据, 获取喜树叶片无机碳总同化能力 TP_n , 计算方法为: $TP_n = \frac{P_n}{f}$, 如表2。

[0046] 表1贵阳市将军山七月份三个区域喜树的叶片净光合速率 P_n 、胞间二氧化碳浓度 C_i 与胞外大气二氧化碳浓度 C_a 的比值 k 、新枝上的第一展开叶的叶片的稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 的值 δ_T 以及大气二氧化碳稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 的平均值 δ_a 。

[0046] 表1贵阳市将军山七月份三个区域喜树的叶片净光合速率 P_n 、胞间二氧化碳浓度 C_i 与胞外大气二氧化碳浓度 C_a 的比值 k 、新枝上的第一展开叶的叶片的稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 的值 δ_T 以及大气二氧化碳稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 的平均值 δ_a 。

样地	植株号	Pn	k	δ_a	δ_T	
		$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$		‰	‰	
[0047]	一区	XS-1	4.51	0.61	-11.98	-28.21
	一区	XS-2	6.69	0.66	-11.98	-29.44
	一区	XS-3	5.74	0.76	-11.98	-30.19
	一区	XS-4	4.98	0.69	-11.98	-31.06
	二区	XS-5	8.2	0.67	-11.98	-29.34
	二区	XS-6	5.55	0.73	-11.98	-30.81
	二区	XS-7	5.46	0.77	-11.98	-31.72
	二区	XS-8	7.28	0.71	-11.98	-30.05
	三区	XS-9	6.79	0.75	-11.98	-30.50
	三区	XS-10	8.18	0.72	-11.98	-28.81
	三区	XS-11	9.12	0.68	-11.98	-29.08
	三区	XS-12	7.33	0.74	-11.98	-30.53

[0048] 表2贵阳市将军山七月份三个区域喜树叶片完全同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δca 、实际同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δaa 、实际同化二氧化碳的份额f以及叶片无机碳总同化能力TPn

样地	植株号	Δca	Δaa	f	TPn	
		‰	‰	%	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	
[0049]	一区	XS-1	18.19	16.23	86.3	5.22
	一区	XS-2	19.32	17.46	87.0	7.69
	一区	XS-3	21.58	18.21	76.5	7.51
	一区	XS-4	19.99	19.08	93.6	5.32
	二区	XS-5	19.54	17.36	84.7	9.68
	二区	XS-6	20.90	18.83	85.5	6.49
	二区	XS-7	21.80	19.74	85.6	6.38
	二区	XS-8	20.45	18.07	83.4	8.73
	三区	XS-9	21.35	18.52	80.2	8.47
	三区	XS-10	20.67	16.83	73.1	11.19
	三区	XS-11	19.77	17.10	81.3	11.22
	三区	XS-12	21.12	18.55	82.0	8.94

[0050] 2) 贵阳市将军山七月份三个区域化香无机碳总同化能力的确定:

[0051] 将生长在贵阳市将军山的七月份三个区域化香作为研究对象,在晴朗天气下,利用便携式光合仪用分别测定上午9:00-10:00的植物新枝上的第二展开叶的叶片的光合参数;从便携式光合仪中读取净光合速率Pn,同时还读取胞外大气二氧化碳浓度Ca和胞间二氧化碳浓度Ci的数据,计算植物叶片胞间二氧化碳浓度Ci与胞外大气二氧化碳浓度Ca的比值k,如表3;同时测定植物新枝上的第一展开叶的叶片的稳定碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 的值 δ_T ,如表3;同时获取被考察环境大气二氧化碳稳定碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值 δ_a ,如表3;依据植物叶片胞间二氧化碳浓度Ci与胞外大气二氧化碳浓度Ca的比值k;计算植物叶片完全同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δca ,如表4;计算方法为: $\Delta ca = 4.4\% + (D - 4.4\%) k$,其

中,D的取值为29‰;随后,依据化香叶片的稳定碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 的值 δ_{T} 、大气二氧化碳稳定碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值 δ_{a} ,计算化香叶片实际同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δaa ,如表4;再者,依据化香叶片完全同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δca 、实际同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δaa ,计算化香叶片实际同化二氧化碳的份额 f ,如表4,最后,依据化香叶片实际同化二氧化碳的份额 f 和净光合速率 Pn 的数据,获取化香叶片无机碳总同化能力 TPn ,计算方法为: $\text{TPn} = \frac{\text{Pn}}{f}$,如表4。

[0052] 表3贵阳市将军山七月份三个区域化香的叶片净光合速率 Pn 、胞间二氧化碳浓度 C_i 与胞外大气二氧化碳浓度 C_a 的比值 k 、新枝上的第一展开叶的叶片的稳定碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 的值 δ_{T} 、大气二氧化碳稳定碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值 δ_{a}

[0053]

样地	植株号	Pn $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	k	δ_{a} ‰	δ_{T} ‰
一区	HX-1	8.26	0.53	-11.98	-28.62
一区	HX-2	7.15	0.58	-11.98	-28.77
一区	HX-3	10.42	0.58	-11.98	-28.93
二区	HX-4	8.94	0.66	-11.98	-29.51
二区	HX-5	10.87	0.65	-11.98	-30.79
二区	HX-6	12.03	0.65	-11.98	-29.12
二区	HX-7	9.99	0.64	-11.98	-27.63
二区	HX-8	8.27	0.67	-11.98	-28.39
三区	HX-9	10.37	0.56	-11.98	-28.34
三区	HX-10	12.13	0.55	-11.98	-27.18
三区	HX-11	11.36	0.57	-11.98	-26.59
三区	HX-12	11.73	0.61	-11.98	-27.22

[0054] 表4贵阳市将军山七月份三个区域化香叶片完全同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δca 、实际同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δaa 、实际同化二氧化碳的份额 f 以及叶片无机碳总同化能力 TPn

[0055]

样地	植株号	$\Delta ca\%$	$\Delta aa\%$	f%	TPn $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
一区	HX-1	17.44	16.64	94.4	8.75
一区	HX-2	18.67	16.79	86.9	8.23
一区	HX-3	18.67	16.95	88.0	11.84
二区	HX-4	20.64	17.53	78.3	11.42
二区	HX-5	20.39	18.81	88.9	12.22
二区	HX-6	20.39	17.14	77.2	15.58
二区	HX-7	20.14	15.65	68.6	14.57
二区	HX-8	20.88	16.41	68.7	12.03
三区	HX-9	18.18	16.36	87.3	11.88
三区	HX-10	17.93	15.20	80.9	14.99
三区	HX-11	18.42	14.61	73.4	15.48
三区	HX-12	19.41	15.24	70.8	16.56

[0056] 3) 贵阳市将军山八月份三个区域喜树无机碳总同化能力的确定:

[0057] 将生长在贵阳市将军山的八月份三个区域喜树作为研究对象,在晴朗天气下,利用便携式光合仪用分别测定上午9:00-10:00的植物新枝上的第二展开叶的叶片的光合参数;从便携式光合仪中读取净光合速率 P_n ,同时还胞外大气二氧化碳浓度 C_a 和胞间二氧化碳浓度 C_i 的数据,计算植物叶片胞间二氧化碳浓度 C_i 与胞外大气二氧化碳浓度 C_a 的比值 k ,如表5;同时测定植物新枝上的第一展开叶的叶片的稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 的值 δ_T ,如表5;同时获取被考察环境大气二氧化碳稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 的平均值 δ_a ,如表5;依据植物叶片胞间二氧化碳浓度 C_i 与胞外大气二氧化碳浓度 C_a 的比值 k ;计算植物叶片完全同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δca ,如表6;计算方法为: $\Delta ca = 4.4\% + (D - 4.4\%)k$,其中, D 的取值为29‰;随后,依据喜树叶片的稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 的值 δ_T 、大气二氧化碳稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 的平均值 δ_a ,计算喜树叶片实际同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δaa ,如表6;再者,依据喜树叶片完全同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δca 、实际同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δaa ,计算喜树叶片实际同化二氧化碳的份额 f ,如表6。最后,依据喜树叶片实际同化二氧化碳的份额 f 和净光合速率 P_n 的数据,获取喜树叶片无机碳总同化能力TPn,计算方法为: $TPn = \frac{P_n}{f}$,如表6。

[0058] 表5贵阳市将军山八月份三个区域喜树的叶片净光合速率 P_n 、胞间二氧化碳浓度 C_i 与胞外大气二氧化碳浓度 C_a 的比值 k 、新枝上的第一展开叶的叶片的稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 的值 δ_T 以及大气二氧化碳稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 的平均值 δ_a

[0059]

样地	植株号	Pn $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	k	$\delta_a\%$	$\delta_T\%$
一区	XS-1	5.54	0.62	-11.98	-29.34
一区	XS-2	7.74	0.60	-11.98	-28.77
一区	XS-3	10.89	0.66	-11.98	-28.13
一区	XS-4	6.00	0.54	-11.98	-28.25
一区	XS-5	5.46	0.68	-11.98	-30.62
二区	XS-6	5.64	0.56	-11.98	-29.23
二区	XS-7	5.03	0.74	-11.98	-30.31
二区	XS-8	3.88	0.65	-11.98	-28.76
二区	XS-9	4.73	0.61	-11.98	-26.75
三区	XS-10	4.99	0.63	-11.98	-27.72
三区	XS-11	2.63	0.67	-11.98	-30.07
三区	XS-12	6.69	0.80	-11.98	-30.64

[0060] 表6贵阳市将军山八月份三个区域喜树叶片完全同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δ_{ca} 、实际同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δ_{aa} 、实际同化二氧化碳的份额 f 以及叶片无机碳总同化能力 TPn

[0061]

样地	植株号	$\Delta_{ca}\%$	$\Delta_{aa}\%$	$f\%$	TPn $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
一区	XS-1	19.65	17.36	84.0	6.60
一区	XS-2	19.16	16.79	83.4	9.28
一区	XS-3	20.64	16.15	68.6	15.86
一区	XS-4	17.68	16.27	90.1	6.66
一区	XS-5	21.13	18.64	82.6	6.61
二区	XS-6	18.18	17.25	93.5	6.03
二区	XS-7	22.60	18.33	70.1	7.17
二区	XS-8	20.39	16.78	74.8	5.19
二区	XS-9	19.41	14.77	67.6	7.00
三区	XS-10	19.90	15.74	70.9	7.04
三区	XS-11	20.88	18.09	80.5	3.29
三区	XS-12	24.08	18.66	62.1	10.77

[0062] 4) 贵阳市将军山八月份三个区域化香无机碳总同化能力的确定:

[0063] 将生长在贵阳市将军山的八月份三个区域化香作为研究对象,在晴朗天气下,利用便携式光合仪用分别测定上午9:00-10:00的植物新枝上的第二展开叶的叶片的光合参数;从便携式光合仪中读取净光合速率 Pn ,同时还读取胞外大气二氧化碳浓度 C_a 和胞间二氧化碳浓度 C_i 的数据,计算植物叶片胞间二氧化碳浓度 C_i 与胞外大气二氧化碳浓度 C_a 的比值 k ,如表7;同时测定植物新枝上的第一展开叶的叶片的稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 的值 δ_T ,如表7;同时获取被考察环境大气二氧化碳稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 的平均值 δ_a ,如表7;依据植物叶片胞间二氧化碳浓度 C_i 与胞外大气二氧化碳浓度 C_a 的比值 k ;计算植物叶片完全同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δ_{ca} ,如表8;计算方法为: $\Delta_{ca} = 4.4\% + (D - 4.4\%) f$,其

中,D的取值为27‰;随后,依据化香叶片的稳定碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 的值 δ_{T} 、大气二氧化碳稳定碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值 δ_{a} ,计算化香叶片实际同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δaa ,如表8;再者,依据化香叶片完全同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δca 、实际同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δaa ,计算化香叶片实际同化二氧化碳的份额f,如表8,最后,依据化香叶片实际同化二氧化碳的份额f和净光合速率 P_{n} 的数据,获取化香叶片无机碳总同化能力 TPn ,计算方法为: $\text{TPn} = \frac{P_{\text{n}}}{f}$,如表8。

[0064] 表7贵阳市将军山八月份三个区域化香的叶片净光合速率 P_{n} 、胞间二氧化碳浓度 C_{i} 与胞外大气二氧化碳浓度 C_{a} 的比值k、新枝上的第一展开叶的叶片的稳定碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 的值 δ_{T} 、大气二氧化碳稳定碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值 δ_{a}

[0065]

样地	植株号	P_{n} $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	k	$\delta_{\text{a}}\%$	$\delta_{\text{T}}\%$
一区	HX-1	5.56	0.60	-11.98	-28.70
一区	HX-2	8.84	0.65	-11.98	-26.25
一区	HX-3	7.44	0.58	-11.98	-28.49
二区	HX-4	4.99	0.59	-11.98	-28.28
二区	HX-5	8.97	0.59	-11.98	-28.46
二区	HX-6	6.80	0.64	-11.98	-29.08
二区	HX-7	4.24	0.72	-11.98	-30.60
二区	HX-8	5.87	0.68	-11.98	-29.46
二区	HX-9	8.88	0.69	-11.98	-28.58
三区	HX-10	9.83	0.68	-11.98	-28.92
三区	HX-11	9.94	0.65	-11.98	-27.80
三区	HX-12	8.66	0.62	-11.98	-29.92
三区	HX-13	6.64	0.73	-11.98	-27.95

[0066] 表8贵阳市将军山八月份三个区域化香叶片完全同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δca 、实际同化二氧化碳的稳定碳同位素分馏值 Δaa 、实际同化二氧化碳的份额f以及叶片无机碳总同化能力 TPn

[0067]

样地	植株号	Δca	Δaa	f	TPn
----	-----	--------------------	--------------------	---	--------------

		‰	‰	%	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	
[0068]	一区	HX-1	17.96	16.72	91.4	6.09
	一区	HX-2	19.09	14.27	66.3	13.33
	一区	HX-3	17.51	16.51	93.0	8.00
	二区	HX-4	17.73	16.30	90.0	5.55
	二区	HX-5	17.73	16.48	91.2	9.83
	二区	HX-6	18.86	17.10	87.6	7.76
	二区	HX-7	20.67	18.62	85.6	4.95
	二区	HX-8	19.77	17.48	84.0	6.99
	二区	HX-9	19.99	16.60	76.2	11.65
	三区	HX-10	19.77	16.94	80.2	12.25
	三区	HX-11	19.09	15.82	77.1	12.89
	三区	HX-12	18.41	17.94	96.7	8.96
	三区	HX-13	20.90	15.97	65.5	10.14

[0069] 本发明的实施效果如下：

[0070] 从表2、表4、表6、表8的结果可以看出，不同的植物在不同的区域、同一植物在不同区域、甚至同一植物在同一区域的不同时间，所得的实际同化二氧化碳的份额以及无机碳总同化能力均不相同。归纳表2、表4、表6、表8的结果得表9。从表2、表4、表6、表8以及表9中可以看出，不同植物叶片净光合速率明显不同；不同的植物在不同的区域、同一植物在不同区域、甚至同一植物在同一区域的不同时间，实际同化二氧化碳的份额以及无机碳总同化能力均不相同，这说明植物无机碳的利用具有较高的变异性，喀斯特适生植物可能正是利用灵活多变的无机碳的代谢来适应环境的。同时，从表2、表4、表6、表8以及表9中还可以看出，贵阳市将军山七月份三个区域喜树实际同化二氧化碳的份额从73.1%到93.6%，平均值为83.3%，化香实际同化二氧化碳的份额从68.6%到94.4%，平均值为80.3%。贵阳市将军山八月份三个区域喜树实际同化二氧化碳的份额从62.1%到93.5%，平均值为77.4%，化香实际同化二氧化碳的份额从65.5%到93.0%，平均值为83.4%。由此可以看出，植物在无机碳利用方面也表现了适应多样化环境的特征，也即植物依据环境来改变无机碳的利用，从而适应环境。喜树的这些结果与我们实验室的双向同位素示踪培养技术所得的结果相似。另外，无论是净光合速率 P_n ，还是无机碳总同化能力 TP_n ，两种植物均为七月份大于八月份，这与八月份气温过高、土壤水分含量较低有关。总体上喀斯特地区植物实际同化二氧化碳的份额在80%左右，这也是与实际相符的。

[0071] 表9贵阳市将军山七、八月份三个区域喜树、化香叶片净光合速率 P_n 、实际同化二氧化碳的份额 f 以及叶片无机碳总同化能力 TP_n

[0072]

植物 (月份)	样地	Pn $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$		f %		TPn $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	
		平均值	SE	平均值	SE	平均值	SE
喜树 (七月)	一区	5.48	0.48	85.9	3.5	6.44	0.67
喜树 (七月)	二区	6.62	0.67	84.8	0.5	7.82	0.82
喜树 (七月)	三区	7.86	0.51	79.2	2.1	9.96	0.73
喜树 (七月)	全区	6.65	0.41	83.3	1.5	8.07	0.58
化香 (七月)	一区	8.61	0.96	89.8	2.3	9.61	1.13
化香 (七月)	二区	10.02	0.67	76.3	3.7	13.16	0.81
化香 (七月)	三区	11.40	0.38	78.1	3.7	14.73	1.00
化香 (七月)	全区	10.13	0.47	80.3	2.5	12.80	0.77
喜树 (八月)	一区	7.54	1.21	81.5	4.6	9.60	2.18
喜树 (八月)	二区	4.82	0.37	76.5	5.9	6.35	0.46
喜树 (八月)	三区	4.77	1.18	71.2	5.3	7.03	2.16
喜树 (八月)	全区	5.77	0.60	77.4	2.8	7.63	0.92
化香 (八月)	一区	7.28	0.95	83.6	8.6	9.14	2.16
化香 (八月)	二区	6.63	0.81	85.8	2.2	7.79	1.05
化香 (八月)	三区	8.77	0.77	79.9	6.4	11.06	0.91
化香 (八月)	全区	7.44	0.53	83.4	2.7	9.11	0.79