



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102899382 B

(45) 授权公告日 2015.04.29

(21) 申请号 201210405278.8

(22) 申请日 2012.10.23

(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 李海涛 李潜 谢腾祥  
刘丛强 王宝利 刘莹

(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.

C12Q 1/02(2006.01)

(56) 对比文件

CN 102511362 A, 2012.06.27, 说明书第  
11-14 段.

WU YanYou et.al.. "Effect of  
acetazolamide on stable carbon isotope

fractionation in *Chlamydomonas*

*reinhardtii* and *Chlorella vulgaris*".

《*Geochemistry*》.2011, 第 57 卷 (第 7 期), 第  
789 页左栏结论.

张帆. "微藻的异养培养及应用研究". 《海  
洋科学》.2012, 第 36 卷 (第 1 期), 第 117-124  
页.

审查员 刘芳

权利要求书1页 说明书6页

(54) 发明名称

一种微藻间接碳汇能力的定量方法

(57) 摘要

本发明公开一种微藻间接碳汇能力的定量方法,分别添加两种  $\delta^{13}\text{C}$  值差异悬殊的碳酸氢钠同时培养待测微藻,测定藻体  $\delta^{13}\text{C}$  值,利用两端元的同位素混合模型获取微藻利用来自于空气的无机碳源和利用添加的无机碳源的份额;同时在培养过程中测定不同培养时间藻体的叶绿素含量,建立藻体叶绿素生长随时间的关系模型,依据模型求出藻类生长速率,藻体单位时间内利用添加的无机碳源合成叶绿素的能力即定义为间接碳汇速率,单位藻体的间接碳汇速率则定义为微藻间接碳汇能力;本方法能定量微藻间接碳汇能力,填补了碳汇能力估算中的空白;不需要获取两端元的同位素  $\delta^{13}\text{C}$  的绝对值,只需测定两个同位素标记的碳酸氢钠的  $\delta^{13}\text{C}$  值,步骤少,计算简单。

1. 一种微藻间接碳汇能力的定量方法,其特征在于:

第一,选择两种  $\delta^{13}\text{C}$  值差值大于 8 ‰ 的碳酸氢钠作为同位素标记 1 和同位素标记 2 分别添加到培养液中来培养待测微藻;同位素标记 1 的碳酸氢钠的  $\delta^{13}\text{C}$  值为  $\delta_{c1}$ ,同位素标记 2 的碳酸氢钠的  $\delta^{13}\text{C}$  值为  $\delta_{c2}$ ;

第二,待测微藻在被考察的培养条件下培养,分别测定不同培养时间下的藻体叶绿素 a 含量;

第三,待培养 7 至 9 天后,收获藻体,分别测定两种同位素标记的培养液培养的相对应的各培养条件下的、被考察微藻的稳定碳同位素组成  $\delta^{13}\text{C}$  的值  $\delta_{T1}$ 、 $\delta_{T2}$ ;

第四,依据不同培养时间下的藻体叶绿素 a 含量数据,构建微藻在待测培养条件下的叶绿素 a 与时间的指数生长方程,对方程求导,获得微藻的生长速率;

第五,通过方程  $f_B = \frac{\delta_{T1} - \delta_{T2}}{\delta_{c1} - \delta_{c2}}$ ,计算出微藻各培养条件下利用添加的无机碳源的份额  $f_B$ ;

第六,依据微藻各培养条件下利用添加的无机碳源的份额  $f_B$  以及微藻的生长速率,计算微藻间接碳汇速率;

第七,构建微藻间接碳汇速率与叶绿素 a 的方程,对方程求导,获得单位藻体的微藻间接碳汇速率则为微藻间接碳汇能力,同时求出了微藻总碳汇能力,微藻总碳汇能力则为微藻间接碳汇能力 /  $f_B$ 。

## 一种微藻间接碳汇能力的定量方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种微藻间接碳汇能力的定量方法,属于应对气候变化和海洋生物工程领域。

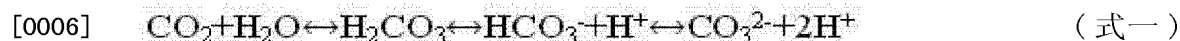
### 背景技术

[0002] 联合国气候变化框架公约将温室气体“源”定义为任何向大气中释放产生温室气体二氧化碳和甲烷等,气溶胶或其前体的过程、活动或机制。温室气体“汇”为从大气中移走温室气体、气溶胶或其前体的过程、活动或机制。全球碳循环的源与汇是以大气圈为参照系,以从大气中输出或向大气中输入碳为标准来确定。由大气中二氧化碳的浓度增加为主导的全球变化,给全世界不仅带来生态和经济问题,也带来了政治问题。在工业革命前,空气中二氧化碳的浓度仅为 280 ppmv,而现在空气中的二氧化碳的浓度达到 391 ppmv,已增加了 40%。

[0003] 生物无机碳的同化作用是极其重要的碳汇过程。海洋覆盖了地球表面的 70%,它贡献约 50% 的地球上的净初级生产力。因此,海洋生态系统是最重要的碳汇和碳源。

[0004] 微藻(microalgae)包括所有生活在水中营浮游生活方式的微小植物,通常就指浮游藻类。微藻结构简单,其生理过程也相对简单,有些种类是科学研究的模式植物,如:莱茵衣藻、小球藻,很多种类还可以人工培养,这为我们的研究提供了便利。微藻对水体无机碳的利用有两种方式,(1)利用大气中的二氧化碳。CO<sub>2</sub>作为线性非极性分子,呈电中性,它可以自由扩散进入细胞双层脂膜,进入细胞中的 CO<sub>2</sub>为微藻细胞的光合作用所利用;(2)利用溶液中碳酸氢根离子。碳酸氢根离子既可以直接转运也可间接转运到细胞中为微藻细胞所利用。碳酸氢根离子的直接转运指的是经过细胞质膜表面载体蛋白或阴离子交换蛋白,直接把碳酸氢根离子转运到细胞内,在胞内经碳酸酐酶转化为 CO<sub>2</sub>或直接以碳酸氢根离子的形式由叶绿体膜蛋白主动运输到叶绿体内,经碳酸酐酶转化成 CO<sub>2</sub>供核酮糖-1,5 二磷酸羧化/加氧酶(Rubisco)固定;碳酸氢根离子的间接转运是指依赖于胞外碳酸酐酶的碳酸氢根离子的间接转运。

[0005] 水体中存在 4 种无机碳形式,它们分别是 CO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 和 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>,这四种形式存在着如下平衡:



[0007] 因此,无论微藻利用二氧化碳还是利用碳酸氢根离子,它们都可能有两个来源,一个是来源于空气中的无机碳,另一个来源于溶液中固有的碳酸氢根离子。无论藻类采用二氧化碳利用途径还是采用碳酸氢根离子利用途径,只要来源空气的无机碳被同化,我们称为藻类直接碳汇,而无论藻类采用二氧化碳利用途径还是采用碳酸氢根离子利用途径,来源水体固有的无机碳被同化称为间接碳汇。直接碳汇直接移去大气中的二氧化碳,而间接碳汇通过移去水体固有的无机碳改变水体无机碳的平衡,间接移去大气中的二氧化碳。以前人们测定或估算的微藻碳汇都为直接碳汇,而间接碳汇为人们所忽视,更谈不上定量了。

[0008] 自然界中碳元素有两种稳定同位素:<sup>12</sup>C 和 <sup>13</sup>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  $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$  表示,自然界中  $\delta^{13}\text{C}$  的变化为  $-90\text{‰}\sim+20\text{‰}$ 。稳定碳同位素的强烈分馏特征是识别微藻无机碳来源的基础。质量平衡原理以及同位素混合模型和化学计量学方法,是定量识别微藻无机碳来源的基础。

[0009] 目前海洋碳汇的估算利用的数据为大气中的二氧化碳的通量,忽视了海洋生态系统中水生生物的重碳酸盐的利用,这严重影响碳汇估算的精度,导致一些应对气候变化的政策和措施的有效性降低。定量微藻间接碳汇能力将有助于科学估算碳汇,切实有效地制定应对气候变化的政策和措施,同时,也为微藻生物技术的发展和蓝藻赤潮的治理提供科学依据。

## 发明内容

[0010] 本发明要解决的技术问题是,提供一种微藻间接碳汇能力的定量方法,填补了碳汇能力估算中的空白。

[0011] 本发明采取以下技术方案:它包括以下步骤:第一,选择两种  $\delta^{13}\text{C}$  值差值大于 8‰ 的碳酸氢钠作为同位素标记 1 和同位素标记 2 分别添加到培养液中来培养待测微藻;同位素标记 1 的碳酸氢钠的  $\delta^{13}\text{C}$  值为  $\delta_{c1}$ ,同位素标记 2 的碳酸氢钠的  $\delta^{13}\text{C}$  值为  $\delta_{c2}$ ;

[0012] 第二,待测微藻在被考察的培养条件下培养,分别测定不同培养时间下的藻体叶绿素 a 含量;

[0013] 第三,待培养 7 至 9 天后,收获藻体,分别测定两种同位素标记的培养液培养的相对应的各培养条件下的、被考察微藻的稳定碳同位素组成  $\delta^{13}\text{C}$  的值  $\delta_{T1}$ 、 $\delta_{T2}$ ;

[0014] 第四,依据不同培养时间下的藻体叶绿素 a 含量数据,构建微藻在待测培养条件下的叶绿素 a 与时间的指数生长方程,对方程求导,获得微藻的生长速率;

[0015] 第五,通过方程  $f_B = \frac{\delta_{T1} - \delta_{T2}}{\delta_{c1} - \delta_{c2}}$ ,计算出微藻各培养条件下利用添加的无机碳源的份额  $f_B$ ;

[0016] 第六,依据微藻各培养条件下利用添加的无机碳源的份额  $f_B$  以及微藻的生长速率,计算微藻间接碳汇速率;

[0017] 第七,构建微藻间接碳汇速率与叶绿素 a 的方程,对方程求导,获得单位藻体的微藻间接碳汇速率则为微藻间接碳汇能力,同时求出了微藻总碳汇能力,微藻总碳汇能力则为微藻间接碳汇能力 /  $f_B$ 。

[0018] 本发明的优点如下:

[0019] 本发明采取如下的思路:分别添加两种  $\delta^{13}\text{C}$  值差异悬殊的碳酸氢钠同时培养待测微藻,测定藻体  $\delta^{13}\text{C}$  值,利用两端元的同位素混合模型获取微藻利用来自于空气的无机碳源和利用添加的无机碳源的份额。同时在培养过程中测定不同培养时间藻体的叶绿素含量,建立藻体叶绿素生长随时间的关系模型,依据模型求出藻类生长速率,藻体单位时间内利用添加的无机碳源合成叶绿素的能力即定义为间接碳汇速率,单位藻体的间接碳汇速率则定义为微藻间接碳汇能力。

[0020] 获取无机碳源份额的原理:

[0021] 微藻利用的无机碳源为空气的无机碳和添加的无机碳。因此,可以利用两端元的同位素混合模型获取微藻利用来自于空气的无机碳源和利用添加的无机碳源的份额。

[0022] 两端元的同位素混合模型可以表示为：

$$[0023] \quad \delta_{Ti} = \delta_{Ai} - f_{Bi} \delta_{Ai} + f_{Bi} \delta_{Bi} \quad (i=1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

[0024] 这里  $\delta_{Ti}$  为微藻的  $\delta^{13}\text{C}$  值,  $\delta_{Ai}$  为假定为微藻完全利用空气的无机碳源时藻体的  $\delta^{13}\text{C}$  值,  $\delta_{Bi}$  为假定为微藻完全利用添加的无机碳源时藻体的  $\delta^{13}\text{C}$  值,  $f_{Bi}$  为该考察微藻利用添加的无机碳源所占的份额。

[0025] 很显然, 只知道  $\delta_{Ti}$  很难求出  $f_{Bi}$ , 因此, 本发明采用具有较大差异的  $\delta^{13}\text{C}$  值碳酸氢钠分别同时培养微藻, 以稳定碳同位素双标记来识别微藻利用添加的无机碳源的份额。

[0026] 对于同位素标记 1 ( $i=1$ ) 来说, 方程 (1) 表示如下式：

$$[0027] \quad \delta_{T1} = \delta_{A1} - f_{B1} \delta_{A1} + f_{B1} \delta_{B1} \quad (2)$$

[0028] 这里  $\delta_{T1}$  为用第一种已知  $\delta^{13}\text{C}$  值的碳酸氢钠培养的微藻藻体的  $\delta^{13}\text{C}$  值,  $\delta_{A1}$  为假定为微藻完全利用空气的无机碳源时藻体的  $\delta^{13}\text{C}$  值,  $\delta_{B1}$  为假定为微藻完全利用添加的无机碳源时藻体的  $\delta^{13}\text{C}$  值,  $f_{B1}$  为该考察微藻利用添加的无机为碳源所占的份额。

[0029] 对于同位素标记 2 ( $i=2$ ) 来说, 方程 (1) 表示如下式：

$$[0030] \quad \delta_{T2} = \delta_{A2} - f_{B2} \delta_{A2} + f_{B2} \delta_{B2} \quad (3)$$

[0031] 这里  $\delta_{T2}$  为用第二种已知  $\delta^{13}\text{C}$  值的碳酸氢钠培养的微藻藻体的  $\delta^{13}\text{C}$  值,  $\delta_{A2}$  为假定为微藻完全利用空气的无机碳源时藻体的  $\delta^{13}\text{C}$  值,  $\delta_{B2}$  为假定为微藻完全利用添加的无机碳源时藻体的  $\delta^{13}\text{C}$  值,  $f_{B2}$  为该考察微藻利用添加的无机碳源所占的份额。

[0032] (2) 和 (3) 两个方程中  $\delta_{A1} = \delta_{A2}$ ,  $f_B = f_{B1} = f_{B2}$ , 联立求解

$$[0033] \quad f_B = \frac{\delta_{T1} - \delta_{T2}}{\delta_{B1} - \delta_{B2}} \quad (4)$$

[0034] (4) 式中  $\delta_{B1} - \delta_{B2}$  则可以换算成同位素标记 1 的碳酸氢钠的  $\delta^{13}\text{C}$  值  $\delta_{C1}$  与同位素标记 2 的碳酸氢钠的  $\delta^{13}\text{C}$  值  $\delta_{C2}$  的差, 则：

$$[0035] \quad f_B = \frac{\delta_{T1} - \delta_{T2}}{\delta_{C1} - \delta_{C2}} \quad (5)$$

[0036] 因此, 可以通过测定同位素标记 1 的碳酸氢钠的  $\delta^{13}\text{C}$  值  $\delta_{C1}$  与同位素标记 2 的碳酸氢钠的  $\delta^{13}\text{C}$  值  $\delta_{C2}$ , 同时测定用对应的标记的碳酸氢钠培养的微藻  $\delta^{13}\text{C}$  值, 即测定出  $\delta_{T1}$  和  $\delta_{T2}$  值, 依 (5) 式计算出该考察微藻利用添加的无机碳源所占的份额。

[0037] 微藻的生长符合指数生长方程, 通过构建在待测培养条件下微藻的叶绿素 a 与时间的关系方程, 继而求导获得微藻的生长速率。依据微藻利用添加的无机碳源所占的份额和微藻的生长速率求出微藻间接碳汇速率, 再计算出单位藻体的间接碳汇速率则为微藻间接碳汇能力同时求出了微藻总碳汇能力, 微藻总碳汇能力则为微藻间接碳汇能力 /  $f_B$ 。

[0038] 本方法能定量微藻间接碳汇能力, 填补了碳汇能力估算中的空白不需要获取两端元的同位素  $\delta^{13}\text{C}$  的绝对值, 只需测定两个同位素标记的碳酸氢钠的  $\delta^{13}\text{C}$  值, 因此需步骤少, 计算简单; 在完全相同的实验条件下开展两个培养实验, 因此, 获取微藻间接碳汇能力的的数据更为可靠, 不同藻类间接碳汇能力也具有可比性; 微藻总碳汇能力也可同时求出。

### 具体实施方式

[0039] 本发明的实施例：第一步骤, 测定不同厂家生产的碳酸氢钠, 选择两种  $\delta^{13}\text{C}$  值差值大于 8 ‰ 的碳酸氢钠作为同位素标记 1 和同位素标记 2 分别加到培养液中。同位素标记

的碳酸氢钠的  $\delta^{13}\text{C}$  值记为  $\delta_{c1}$ , 其中同位素标记 1 的碳酸氢钠的  $\delta^{13}\text{C}$  值为  $\delta_{c1}$ , 同位素标记 2 的碳酸氢钠的  $\delta^{13}\text{C}$  值为  $\delta_{c2}$ ;

[0040] 第二步骤, 待测微藻在被考察的培养条件下培养, 分别测定不同培养时间下的藻体叶绿素 a 含量;

[0041] 第三步骤, 待培养结束后, 收获藻体, 分别测定两种同位素标记的培养液培养的相对应的各培养条件下的、被考察微藻的稳定碳同位素组成  $\delta^{13}\text{C}$  的值, 由同位素标记 1 培养的、各培养条件下的、被考察微藻的  $\delta^{13}\text{C}$  值作为  $\delta_{t1}$ , 由同位素标记 2 培养的、相对应的培养条件下的、被考察微藻的  $\delta^{13}\text{C}$  值作为  $\delta_{t2}$ ;

[0042] 第四步骤, 依据不同培养时间下的藻体叶绿素 a 含量数据, 构建微藻在待测培养条件下的叶绿素 a 与时间的指数生长方程, 对方程求导, 获得微藻的生长速率与培养时间的关系方程, 计算不同培养时间微藻的生长速率;

[0043] 第五步骤, 将  $\delta_{c1}$ 、 $\delta_{c2}$ 、 $\delta_{t1}$  和  $\delta_{t2}$  带入  $f_B = \frac{\delta_{t1} - \delta_{t2}}{\delta_{c1} - \delta_{c2}}$ , 计算出各个培养条件下被考察微藻利用添加的无机碳源的份额  $f_B$ ;

[0044] 第六步骤, 依据微藻各培养条件下利用添加的无机碳源的份额  $f_B$  以及不同培养时间微藻的生长速率, 获得间接碳汇速率 ( $\text{RCS}_{\text{ID}}$ ) 随时间 (T) 变化的方程, 再计算不同培养时间微藻间接碳汇速率;

[0045] 第七步骤, 构建微藻间接碳汇速率与叶绿素 a 的方程, 对方程求导, 获得单位藻体的微藻间接碳汇速率则为微藻间接碳汇能力, 同时求出了微藻总碳汇能力, 微藻总碳汇能力则为微藻间接碳汇能力 /  $f_B$ 。

[0046] 衣藻间接碳汇能力的测定:

[0047] 培养材料为: 衣藻。基本培养液采用 SE 培养基, 基本培养条件为: 光周期 L/D: 12h/12h; 温度 25℃; 光照强度为  $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , pH 值 8.0 (用盐酸和氢氧化钠调节)。添加 2 mM 碳酸氢钠到基本培养液, 添加的碳酸氢钠的  $\delta^{13}\text{C}$  分别为 -28.4‰ (PDB) ( $\delta_{c1}$ ) 和 -17.4‰ (PDB) ( $\delta_{c2}$ )。测定培养 0、1、3、5、7、9 天的叶绿素 a 的变化 (表 2)。收获培养 9 天后衣藻, 分别测定衣藻的  $\delta^{13}\text{C}$  值 (表 1)。用本发明方法, 得出衣藻利用添加的无机碳源的份额  $f_B$  (表 1), 构建出衣藻叶绿素 a 随培养时间的变化方程 (表 3), 对叶绿素 a 随培养时间的变化方程进行求导, 得出衣藻的生长速率与培养时间的关系方程。衣藻间接碳汇速率则为利用添加的无机碳源的份额  $f_B$  与微藻的生长速率的乘积 (表 3)。

[0048]

表 1 衣藻利用添加的无机碳源的份额  $f_B$ 

微藻种类	$\delta_{T1}$ ‰ (PDB)	$\delta_{T2}$ ‰ (PDB)	利用添加的无机碳源的份额 $f_B$
衣藻	-20.8	-19.9	0.08

表 2 衣藻不同培养时间(天)下的叶绿素 a 含量 (微克/升)

微藻种类	培养时间(天)					
	0	1	3	5	7	9
衣藻	226.0	357.1	667.1	2389.4	4777.1	13693.0

表 3 衣藻间接碳汇速率随时间变化的方程

微藻种类	叶绿素 a (C) 随培养时间(T)的变化方程	生长速率( $V_{ch}$ )与培养时间(T)的关系方程	间接碳汇速率( $RCS_{ID}$ )随时间(T)变化的方程
衣藻	$C = 159.06 + 139.52e^{0.51T}$ ( $R^2 = 0.999$ , $n=6$ )	$V_{ch} = 71.16e^{0.51T}$	$RCS_{ID} = 5.69e^{0.51T}$

[0049] 根据间接碳汇速率 ( $RCS_{ID}$ ) 随时间 (T) 变化的方程  $RCS_{ID} = 5.69e^{0.51T}$ , 求出不同培养时间时衣藻间接碳汇速率, 如表 4。

[0050]

表 4 不同培养时间时衣藻间接碳汇速率与叶绿素 a 含量

培养时间 (T) (天)	0	1	3	5	7	9
叶绿素 a 含量 (C) (微克/升)	226.0	357.1	667.1	2389.4	4777.1	13693.0
间接碳汇速率 ( $RCS_{ID}$ )	5.69	9.48	26.28	72.87	202.09	560.43

[0051] 由表 4 构建出直线方程:  $RCS_{ID} = -6.642 + 0.042C$ , 这个直线方程的斜率 0.042 (单位: 毫克/毫克·天) 则为单位藻体的衣藻间接碳汇速率, 也即为衣藻间接碳汇能力, 同时求出了衣藻总碳汇能力为 0.525 (单位: 毫克/毫克·天)。

[0052] 小球藻间接碳汇能力的测定:

[0053] 培养材料为: 小球藻。基本培养液采用 SE 培养基, 基本培养条件为: 光周期 L/D: 12h/12h; 温度 25℃; 光照强度为  $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , pH 值 8.0 (用盐酸和氢氧化钠调节)。添加 2 mM 碳酸氢钠到基本培养液, 添加的碳酸氢钠的  $\delta^{13}\text{C}$  分别为 -28.4‰ (PDB) ( $\delta_{c1}$ ) 和 -17.4‰ (PDB) ( $\delta_{c2}$ )。测定培养 0、2、4、5、6、7 天的叶绿素 a 的变化 (表 6)。收获培养 7 天后小球藻, 分别测定小球藻的  $\delta^{13}\text{C}$  值 (表 5)。用本发明方法, 得出小球藻利用添加无机碳源的份额  $f_B$  (表 5), 构建出小球藻叶绿素 a 随培养时间的变化方程 (表 7), 对叶绿素 a 随培养时间的变化方程进行求导, 得出小球藻的生长速率与培养时间的关系方程。小球藻间接碳汇速率则为利用添加的无机碳源的份额  $f_B$  与小球藻的生长速率的乘积 (表 7)。

[0054]

表 5 小球藻利用添加的无机碳源的份额  $f_B$ 

微藻种类	$\delta_{T1}$ ‰ (PDB)	$\delta_{T2}$ ‰ (PDB)	利用添加的无机碳源的份额 $f_B$
小球藻	-21.8	-21.0	0.07

表 6 小球藻不同培养时间(天)下的叶绿素 a 含量 (微克/升)

微藻种类	培养时间(天)					
	0	2	4	5	6	7
小球藻	401.85	504.56	571.80	651.27	768.66	899.48

表 7 小球藻间接碳汇速率随时间变化的方程

微藻种类	叶绿素 a (C) 随培养时间(T)的变化方程	生长速率( $V_{ch}$ )与培养时间(T)的关系方程	间接碳汇速率( $RCS_{ID}$ )随时间(T)变化的方程
小球藻	$C = 331.45 + 84.50e^{0.27T}$ ( $R^2 = 0.996$ , $n=6$ )	$V_{ch} = 22.82e^{0.27T}$	$RCS_{ID} = 1.60e^{0.27T}$

[0055] 根据间接碳汇速率 ( $RCS_{ID}$ ) 随时间 (T) 变化的方程  $RCS_{ID} = 1.60e^{0.27T}$ , 求出不同培养时间时小球藻间接碳汇速率, 如表 8。

[0056]

表 8 不同培养时间时小球藻间接碳汇速率与叶绿素 a 含量

培养时间 (T) (天)	0	2	4	5	6	7
叶绿素 a 含量(C)(微克/升)	401.85	504.56	571.80	651.27	768.66	899.48
间接碳汇速率 ( $RCS_{ID}$ )	1.60	2.75	4.71	6.17	8.08	10.59

[0057] 由表 8 构建出直线方程:  $RCS_{ID} = -6.058 + 0.019C$ , 这个直线方程的斜率 0.019 (单位: 毫克/毫克·天) 则为单位藻体的小球藻间接碳汇速率, 也即为小球藻间接碳汇能力。同时求出了小球藻总碳汇能力为 0.271 (单位: 毫克/毫克·天)。

[0058] 应用效果:

[0059] 综上所述可以看出, 衣藻的总碳汇能力大于小球藻总碳汇能力。衣藻的间接碳汇能力也大于小球藻的间接碳汇能力, 这与衣藻胞外碳酸酐酶活力大于小球藻的胞外碳酸酐酶活力的事实相符, 表明利用本发明获得的微藻的总碳汇能力和间接碳汇能力是可信的。