

文章编号:1001-4810(2013)03-0247-06

## 桂林会仙岩溶湿地典型水生植物 $\delta^{13}\text{C}$ 特征与固碳量估算

章程, 谢运球, 宁良丹, 玉宏, 汪进良, 李凤

(中国地质科学院岩溶地质研究所/国土资源部、广西壮族自治区岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541001)

**摘 要:**为促进目前岩溶碳汇稳定性和速率等科学问题的深入研究,在分析桂林会仙岩溶湿地主要水生植物碳同位素的基础上,利用基于碳酸酐酶活性与植物碳同位素值显著正相关的二端元模型,估算了不同植物利用光合作用固定  $\text{HCO}_3^-$  的比例。结果表明,湿地核心区沉水植物光合作用固定  $\text{HCO}_3^-$  碳量在 4.86~64.73  $\text{tC}/(\text{a} \cdot \text{km}^2)$  之间,挺水植物为 15.68~453.01  $\text{tC}/(\text{a} \cdot \text{km}^2)$ ,平均值为 76.74  $\text{tC}/(\text{a} \cdot \text{km}^2)$ 。按平均值计算会仙湿地水生植物光合作用固定  $\text{HCO}_3^-$  碳量为 4 466.27  $\text{tC}/\text{a}$ ,即在会仙湿地岩溶地下河补给的  $\text{HCO}_3^-$  中约 47% 被水生植物光合作用固定。水生植物光合作用固碳效果明显,是碳汇研究中不容忽视的一个十分重要的问题。

**关键词:**水生植物;碳同位素;岩溶湿地;固碳量;桂林会仙

**中图分类号:**P597.2 **文献标识码:**A

### 0 引 言

水生植物是水域生态系统和湿地生态系统中重要的组成部分<sup>[1]</sup>。水生植物与陆生植物最大的区别在于进行光合作用时具有利用重碳酸盐( $\text{HCO}_3^-$ )的能力。研究发现,大约有 50% 的沉水植物除了利用  $\text{CO}_2$  外还使用  $\text{HCO}_3^-$  作为无机碳源<sup>[2]</sup>。水体中的无机碳一般以 3 种形态存在,即自由  $\text{CO}_2$  (溶解于水中分子形式的  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{CO}_3$ )、离子态的重碳酸盐( $\text{HCO}_3^-$ )以及碳酸盐( $\text{CO}_3^{2-}$ )。无机碳的 3 种分布形态由 pH 值决定,大多数淡水 pH 值均高于 7,溶解的无机碳形态主要以  $\text{HCO}_3^-$  为主<sup>[3]</sup>。淡水湖泊的 pH 值范围在 7.0~8.5 之间时, $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_2$  从 4 倍增大到 140 倍<sup>[4]</sup>,而偏碱性和高含量  $\text{HCO}_3^-$  正是岩溶地

下水的显著特征之一。

通过对植物叶子中稳定 C 同位素的测定,可以反映植物碳代谢的基本类型<sup>[5]</sup>,植物与环境的基本关系<sup>[6]</sup>。对贵州草海湖泊系统的研究表明,水生植物的光合呼吸作用和有机质的降解对整个湖泊体系的稳定 C 同位素组成具有决定性作用<sup>[7]</sup>;林清等<sup>[8-9]</sup>分析了沉水植物龙须眼子菜与环境之间的关系;黄亮等<sup>[10]</sup>测定了长江中游 9 个湖泊水生植物体内 C、N、P 及  $\delta^{13}\text{C}$  组成,探讨这些元素在水生植物中分布以及所处水环境的关系。本文在论述桂林会仙岩溶湿地主要水生植物碳同位素的基础上,估算了不同植物利用光合作用固定  $\text{HCO}_3^-$  的比例,有助于目前岩溶碳汇稳定性和速率等科学问题的深入研究<sup>[11-12]</sup>。

基金项目:国土资源部公益性行业科研专项基金(201111022, 201311148),国家自然科学基金(41202185),广西科学技术计划项目(桂科能 1298018-6),中国地质调查局地质调查项目(12120113014200),IGCP 598 项目和国土资源部、广西壮族自治区岩溶动力学重点实验室开放课题(KDL2012-12)

第一作者简介:章程(1965-),研究员,博士生导师,主要从事岩溶环境、岩溶作用与碳循环、水文地质与土地利用研究。E-mail:chzhang@karst.ac.cn.

收稿日期:2013-06-09

### 1 研究区概况

会仙岩溶湿地位于桂林市西南部临桂县会仙镇，距桂林市区约 30 km(图 1)，是我国岩溶湿地的典型代表，也是我国中低纬度低海拔地区最大的自然湿地，总面积约 189 km<sup>2</sup>，湿地核心区水域总面积为 58.2 km<sup>2</sup>[13]，年均气温 18.8 ℃，7 月平均气温 28.3 ℃，年均降雨量 1 894.4 mm。湿地水系统水资源输出总量约为 2.73×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/a。岩溶地下水是湿地的主要补给水源。

研究区位于中国地质科学院岩溶地质研究所岩溶湿地生态系统研究基地西侧(图 2)。基地附近水体基本水化学特征见表 1。据调查统计会仙湿地水生植物共有 40 科 82 属 134 种。主要有水龙、黑藻、狐尾藻、水蓼衣、华克拉莎、长苞香蒲等 32 种优势种[13]。

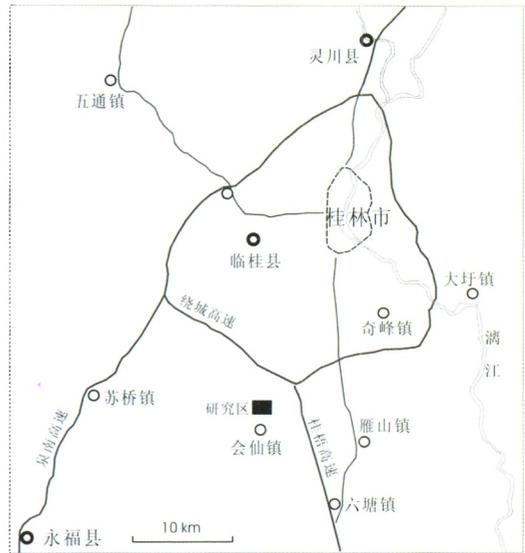


图 1 研究区地理位置

Fig. 1 Location of the study area

表 1 研究区东部湿地水体基本水化学特征(单位: mg/L)

Table 1 Hydrochemical characteristics of the water in the eastern part of the wetland (unit: mg/L)

离子组份	pH 值	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
含量变幅	7.47~7.51	65.0~72.0	4.17~4.28	3.62~4.04	0.74~0.80	170.8~183.0	6.21~6.54	17.89~19.12	2.82~5.11
平均值	7.49	68.9	4.20	3.82	0.76	177.65	6.39	18.37	4.04

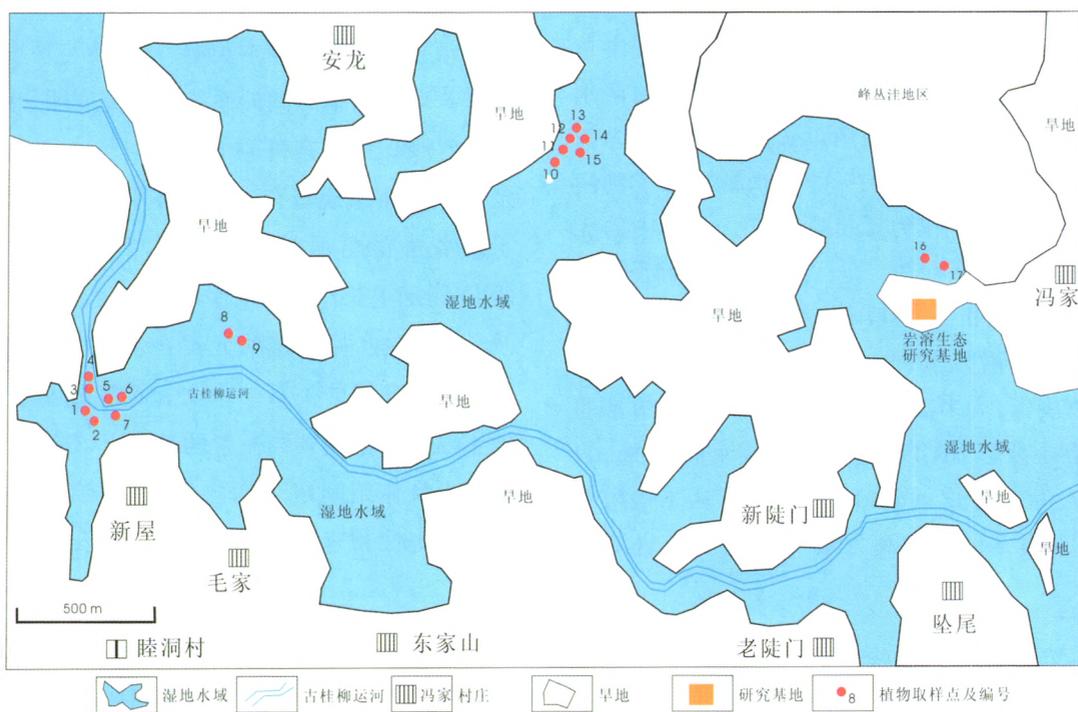


图 2 水生植物取样点位置图

Fig. 2 Location map of aquatic vegetation sampling sites

## 2 研究方法

水生植物取样工作在 2011 年 8 月 10—12 日进行。在会仙湿地核心区水域共取水生植物样 17 种(图 2), 以沉水植物和挺水植物为主, 分别为 7 种和 8 种, 浮水植物和湿生植物各 1 种。将采来的植物清洗干净, 风干, 放入塑料袋中, 带回实验室后放入烘箱中在  $70\text{ }^\circ\text{C}$  下干燥后, 粉碎, 混合均匀。样品经无机酸淋洗去除无机碳, 同位素的测定采用燃烧法在 Finnigan MAT 公司 MAT253 型气体稳定同位素比值质谱计上进行, C 同位素以 PDB 国际标准报道, 实验室的测定精度是  $\pm 0.2\text{ }^\circ\text{‰}$ 。测试工作由国土资源部岩溶地质资源环境监督检测中心完成。

水生植物光合作用利用碳酸氢根离子占无机碳源比例, 利用专利(ZL 201010247881.9)计算<sup>[14]</sup>。该方法基本原理为重碳酸根参与光合作用的比例取决于碳酸酐酶活性, 碳酸酐酶活性与环境相关, 碳酸酐酶活性与植物碳同位素值显著正相关。模型中两个

端元分别为: 不利用碳酸氢根的悬铃木叶片  $\delta^{13}\text{C}$  为  $-31.56\text{ }^\circ\text{‰}$ , 极少利用二氧化碳的小球藻  $\delta^{13}\text{C}$  为  $-22.74\text{ }^\circ\text{‰}$ , 碳酸酐酶对植物同位素分馏作用在  $8.82\text{ }^\circ\text{‰}$  左右。计算公式如下:

$$\delta T = \delta A - fB \cdot \delta A + fB \cdot \delta B$$

式中:  $\delta T$  为被考察植物叶片的碳同位素值;  $\delta A$  为基本不利用碳酸氢根离子作无机碳源、碳酸酐酶活性极低的植物叶片的  $\delta^{13}\text{C}$  值, 为  $-31.56\text{ }^\circ\text{‰}$ ;  $\delta B$  为极少利用二氧化碳作碳源以碳酸氢根离子为主要无机碳源的微藻的  $\delta^{13}\text{C}$  值, 为  $-22.74\text{ }^\circ\text{‰}$ ;  $fB$  为植物利用碳酸氢根离子占无机碳源比例。

## 3 结果与讨论

从 17 种代表性植物的  $\delta^{13}\text{C}$  测试结果看, 其值变化在  $-30.08\text{ }^\circ\text{‰} \sim -18.91\text{ }^\circ\text{‰}$  之间, 平均为  $-26.65\text{ }^\circ\text{‰}$  (表 2), 其中狐尾藻的  $\delta^{13}\text{C}$  最大, 三棱藨草的  $\delta^{13}\text{C}$  最小。不同类型植物  $\delta^{13}\text{C}$  碳同位素平均值从高到低依次为沉水植物 ( $-23.91\text{ }^\circ\text{‰}$ ), 湿生植物 ( $-27.49\text{ }^\circ\text{‰}$ ),

表 2 17 种水生植物钙含量与碳同位素特征

Table 2 Calcium contents and  $\delta^{13}\text{C}$  values of 17 aquatic vegetation species

生活型	样品种名	科名	样号	Ca/%	$\delta^{13}\text{C}_{(V-PDB)}\text{ }^\circ\text{‰}$	$\delta^{13}\text{C}$ 平均值/ $^\circ\text{‰}$
浮水	水龙	柳叶菜科	2	1.60	-28.784	-28.784
	金鱼藻	金鱼藻科	1	2.18	-29.307	
	密齿苦草	水鳖科	3	1.60	-29.41	
	石龙尾	玄参科	5	5.68	-25.772	
沉水	黑藻	水鳖科	6	4.62	-21.781	-23.914
	狐尾藻	小二仙草科	7	13.36	-18.905	
	马来眼子菜	眼子菜科	8	10.28	-21.113	
	茨藻	茨藻科	9	17.04	-21.109	
湿生	柳叶箬	禾本科	13	1.41	-27.488	-27.488
挺水	水蓼衣	爵床科	4	3.07	-28.345	-28.663
	萤蔺	莎草科	10	0.89	-29.209	
	华克拉莎	莎草科	11	1.76	-27.122	
	水毛花	莎草科	12	2.31	-29.466	
	长苞香蒲	香蒲科	14	0.95	-29.327	
	茭白	禾本科	15	1.21	-27.34	
	野马蹄	莎草科	16	1.12	-28.416	
三棱藨草	莎草科	17	3.61	-30.082		

挺水植物(-28.66 ‰),浮水植物(-28.78 ‰),略低于长江中游淡水湖泊同类型水生植物  $\delta^{13}\text{C}$  值<sup>[10]</sup>。表2的数据表明,会仙湿地水生植物钙含量多在1%~5%,碳同位素值较高的植物其钙含量往往也较高,如狐尾藻和茨藻的钙含量均高于10%,分别为13.36%和17.04%,暗示狐尾藻、茨藻与马来眼子菜光合作用中对碳起固定作用的碳酸酐酶(CA)均具有较高的活性<sup>[15-16]</sup>。它们可能通过碳酸酐酶来高效催化  $\text{HCO}_3^-$  和  $\text{CO}_2$  之间的快速转化,从而维持较高的光合速率<sup>[17-18]</sup>。由于  $\text{HCO}_3^-$  比溶解  $\text{CO}_2$  富集 $^{13}\text{C}$ <sup>[19]</sup>,使得狐尾藻等具有相对较高的碳同位素组成。有实验<sup>[20]</sup>表明,岩溶水环境比非岩溶水环境更有利于藻类生物量的增加;另一方面, $\text{Ca}^{2+}$ 对藻类生物的代谢活动有重要的生理意义<sup>[21]</sup>,即藻体在代谢过程中可吸收水体中的  $\text{Ca}^{2+}$ 。Obst等(2009)<sup>[22]</sup>利用透射电子显微镜技术对藻类细胞表面的研究表明,在高  $\text{Ca}^{2+}$  浓度的环境下, $\text{CaCO}_3$ 能以多种晶体形态沉积在藻细胞壁,并且随着水体环境的改变而发生沉积或溶蚀。

表3为湿地核心区水域8个水生植物群落生物量统计<sup>[13]</sup>,按水生植物平均含碳量49.7%计算,固碳量在25.26~1291.75  $\text{g}/(\text{a}\cdot\text{m}^2)$ 之间,总体上挺水植物的固碳量比沉水植物固碳量高。

表3 典型水生植物生物量及同位素特征

Table 3 Biomass and carbon isotope values of 8 typical aquatic vegetations

水生植物群落	$\delta^{13}\text{C}_{\text{C}(V-\text{PDB})}$ ‰	生物量/ $\text{g}/(\text{a}\cdot\text{m}^2)$	固碳量/ $\text{g}/(\text{a}\cdot\text{m}^2)$
金鱼藻	-29.307	72.58	36.07
密齿苦草	-29.41	57.56	28.61
黑藻	-21.781	50.83	25.26
狐尾藻	-18.905	130.25	64.73
马来眼子菜	-21.113	55.77	27.72
水蓼衣	-28.345	124.15	61.70
华克拉莎	-27.122	2599.1	1291.75
长苞香蒲	-29.327	305.89	152.03

在水生植物光合作用中,固定的无机碳一部分来源于  $\text{CO}_2$ ,一部分来源于  $\text{HCO}_3^-$ ,两者的比例多少可以利用前述的二端元模型计算<sup>[14]</sup>。二氧化碳端

( $\delta\text{A}$ )用-31.6 ‰,考虑到研究区的实际情况,避免出现  $f\text{B}$  值大于100%,对于碳酸氢根离子端( $\delta\text{B}$ )直接利用8种植物中的最大值-18.9 ‰,则植物利用碳酸氢根离子占无机碳源比例( $f\text{B}$ )计算公式修正如下: $f\text{B} = (31.56 + \delta\text{T}) / 12.66$ 。

据此计算水生植物吸收利用碳酸氢根离子占无机碳源的比重,结果如表4。

从表4可知,沉水植物光合作用固定  $\text{HCO}_3^-$  碳量在4.86~64.73  $\text{tC}/(\text{a}\cdot\text{km}^2)$ 之间,挺水植物为15.68~453.01  $\text{tC}/(\text{a}\cdot\text{km}^2)$ ,二者的平均值为76.74  $\text{tC}/(\text{a}\cdot\text{km}^2)$ 。据遥感与实地调查数据,会仙湿地核心区水域总面积为58.2  $\text{km}^2$ ,按平均值计算会仙湿地水生植物光合作用固定  $\text{HCO}_3^-$  碳量为4466.27  $\text{tC}/\text{a}$ 。

表4 几种主要水生植物群落  $f\text{B}$  值及固定重碳酸根碳量

Table 4 The  $f\text{B}$  values and carbon( $\text{HCO}_3^-$ ) sequestration of several main aquatic vegetations

水生植物群落	$f\text{B}/\%$	固碳量/ $\text{g}/(\text{a}\cdot\text{m}^2)$	光合作用固定 $\text{HCO}_3^-$ 碳量/ $\text{g}/(\text{a}\cdot\text{m}^2)$ *
金鱼藻	17.80	36.07	6.42
密齿苦草	16.99	28.61	4.86
黑藻	77.27	25.26	19.52
狐尾藻	100.00	64.73	64.73
马来眼子菜	82.55	27.72	22.88
水蓼衣	25.40	61.70	15.68
华克拉莎	35.07	1291.75	453.01
长苞香蒲	17.65	152.03	26.83
平均值	46.59	210.98	76.74

\* 相当于水域的  $\text{tC}/(\text{a}\cdot\text{km}^2)$

会仙湿地水系统年水资源输出总量为  $2.73 \times 10^8$   $\text{m}^3$ 。若以补给源之一的冯家村西侧狮子潭地下河出口2012年9月8-11日  $\text{HCO}_3^-$  含量平均值2.92  $\text{mmol}/\text{L}$ 计,则  $\text{HCO}_3^-$  年输入量为48691.82  $\text{t}/\text{a}$ ,即9578.72  $\text{tC}/\text{a}$ 。狮子潭沉水植物区昼夜监测结果表明沉水植物光合作用消耗的  $\text{HCO}_3^-$  每昼夜为21.36  $\text{kg}$ ,约占输入量的27.8%。推算湿地核心区沉水植物光合作用固定  $\text{HCO}_3^-$  碳量为2662.88  $\text{tC}/\text{a}$ ,则挺水及浮水植物光合作用固碳量为1803.39  $\text{tC}/\text{a}$ ,即

会仙湿地沉水植物和挺水植物光合作用固碳量占水生植物光合作用总固碳量的比例分别为 60 % 和 40 %。比较 4 466.27 tC/a 和 9 578.72 tC/a 两个数值可得出会仙湿地由岩溶地下河补给的  $\text{HCO}_3^-$  中平均 46.6 % 被水生植物光合作用转化为有机碳固定下来。这一数值略小于贵州草海 58.8 % 的比例<sup>[23]</sup>, 但与文献[24]报道的基本一致。

#### 4 结 论

会仙岩溶湿地主要水生植物碳同位素值变化在  $-30.08\text{‰} \sim -18.91\text{‰}$  之间, 平均为  $-26.65\text{‰}$ , 以沉水植物狐尾藻的  $\delta^{13}\text{C}$  最大, 挺水植物三棱藨草的  $\delta^{13}\text{C}$  最小。湿地核心区沉水植物光合作用固定  $\text{HCO}_3^-$  碳量在  $4.86 \sim 64.73 \text{ tC}/(\text{a} \cdot \text{km}^2)$  之间, 挺水植物为  $15.68 \sim 453.01 \text{ tC}/(\text{a} \cdot \text{km}^2)$ , 平均值为  $76.74 \text{ tC}/(\text{a} \cdot \text{km}^2)$ 。按平均值计算会仙湿地水生植物光合作用固定  $\text{HCO}_3^-$  碳量为 4 466.27 tC/a, 即会仙湿地由岩溶地下河补给的  $\text{HCO}_3^-$  中约 47 % 被水生植物光合作用固定。

**致 谢:**感谢两位匿名审稿专家为本文付出的宝贵时间和提出的建设性修改意见、编辑为本文付出的辛勤劳动!

#### 参 考 文 献

- [1] 高丽楠. 水生植物光合作用影响因子研究进展[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2013, 32(1): 1-8.
- [2] Prins H B A, Elzenga J T M. Bicarbonate utilization: Function and mechanism[J]. Aquatic Botany, 1989, 34(1-3): 59-83.
- [3] Madsen T V. Growth and photosynthetic acclimation by *Ranunculus aquatilis* L. in response to inorganic carbon availability[J]. New Phytology, 1983, 125(4): 707-715.
- [4] Sand-Jensen K. Photosynthetic carbon sources of stream macrophytes[J]. Journal of Experimental Botany, 1983, 34(2): 198-210.
- [5] O'Leary M H. Carbon isotope fractionation in plants. Phytochemistry, 1981, 20: 553-566.
- [6] 冯虎元, 安黎哲, 王勋陵. 环境条件对植物稳定同位素组成的影响[J]. 植物学通报, 2000, 17(4): 312-318.
- [7] 陈毅凤, 张军, 万国江. 贵州草海湖泊系统碳循环简单模式[J]. 湖泊科学, 2001, 13(1): 15-19.
- [8] 林清, 王绍令. 沉水植物稳定碳同位素组成及影响因素分析[J]. 生态学报, 2001, 21(5): 806-809.
- [9] 林清. 温度和无机碳浓度对龙须眼子菜(*Potamogeton pectinatus*)碳同位素分馏的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(2): 570-576.
- [10] 黄亮, 吴莹, 张经, 等. 长江中游若干湖泊水生植物体内 C、N、P 及  $\delta^{13}\text{C}$  分布[J]. 地球学报, 2003, 24(6): 515-518.
- [11] 刘再华. 岩石风化碳汇研究的最新进展和展望[J]. 科学通报, 2012, 57(2-3): 95-102.
- [12] 袁道先. 地质作用与碳循环研究的回顾和展望[J]. 科学通报, 2011, 56(26): 2157.
- [13] 蔡德所, 马祖陆, 蒋忠诚, 等. 会仙岩溶湿地生态系统研究[M]. 北京: 地质出版社, 2012: 1-18, 64-231.
- [14] 吴沿友, 邢德科, 刘莹. 植物利用碳酸氢根离子的特征分析[J]. 地球与环境, 2011, 39(2): 273-277.
- [15] Beer S, Wetzel R G. Photosynthesis in submerged macrophytes of a temperate lake[J]. Plant Physiology, 1982, 70: 488-492.
- [16] 肖月娥, 陈开宁, 戴新宾, 等. 太湖两种大型沉水植物无机碳利用效率差异及其机理[J]. 植物生态学报, 2007, 31(3): 490-496.
- [17] Badger M R, Price G D. The role of carbonic anhydrase in photosynthesis[M]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1994, 45: 369-392.
- [18] Burnell J N, Hatch M D. Low bundle sheath carbonic anhydrase is apparently essential for effective C4 pathway operation[J]. Plant Physiology, 1990, 86: 1252-1256.
- [19] Mook W G, Bommerson J C, Staverman W H. Carbon isotope fraction between dissolved bicarbonate and gaseous carbon dioxide[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1974, 22: 169-176.
- [20] 刘彦, 张金流, 何媛媛, 等. 单生卵囊藻对 DIC 的利用及其对  $\text{CaCO}_3$  沉积影响的研究[J]. 地球化学, 2010, 39(2): 191-196.
- [21] Berridge M J, Bootman M D, Lipp P. Calcium - a life and death signal[J]. Nature, 1998, 395(6703): 645-648.
- [22] Obst M, Dynes J J, Lawrence J R, et al. Precipitation of amorphous  $\text{CaCO}_3$  (aragonite-like) by cyanobacteria: A STXM study of the influence of EPS on the nucleation process[J]. Geochim Cosmochim Acta, 2009, 73(14): 4180-4198.
- [23] 张强. 岩溶地质碳汇的稳定性——以贵州草海地质碳汇为例[J]. 地球学报, 2012, 33(6): 947-952.
- [24] Liu Z H, Liu X L, Liao C J. Daytime deposition and nighttime dissolution of calcium carbonate controlled by submerged plants in a karst spring-fed pool: Insights from high time-resolution monitoring of physico-chemistry of water[J]. Environmental Geology, 2008, 55(6): 1159-1168.

## Characteristics of $\delta^{13}\text{C}$ in typical aquatic plants and carbon sequestration in the Huixian karst wetland, Guilin

ZHANG Cheng, XIE Yun-qiu, NING Liang-dan, YU Hong, WANG Jin-liang, LI Feng

(Institute of Karst Geology, CAGS / Key Laboratory of Karst Dynamics, MLR & GZAR, Guilin, Guangxi 541004, China)

**Abstract:** Currently, the stability and the velocity of karst carbon sink are two major scientific questions urgently need to be answered. Characteristics of  $\delta^{13}\text{C}$  in major aquatic vegetations in the Huixian karst wetland are discussed in this paper, and the percentages of photosynthetic carbon fixation are estimated by means of double-meta model in which remarkable positive relationship is presented between carbonate anhydrase activity and the value of plant carbon isotope. The Huixian karst wetland, located in Huixian town, Lingui county and 30 km away from Guilin city, is the largest natural wetland in low-altitude area of subtropical zone of China. The wetland is mainly sourced by karst groundwater. To understand the characteristics of  $\delta^{13}\text{C}$  value in different aquatic plants, aquatic plant sampling is conducted on 10-12, August, 2011, and 17 aquatic plants are collected in the core zone of this karst groundwater-fed wetland and their  $\delta^{13}\text{C}$  are analyzed. The  $\delta^{13}\text{C}$  values varied from  $-30.08\text{‰}$  to  $-18.91\text{‰}$  with an average of  $-26.65\text{‰}$ , in which the maximum is in *watermifoil* and the minimum is in *scripus triqueter*. The mean  $\delta^{13}\text{C}$  values of various plants in descending order are  $-23.91\text{‰}$  (submerged plant),  $-27.49\text{‰}$  (hydrophyte),  $-28.66\text{‰}$  (emergent plant),  $-28.78\text{‰}$  (floating plant) respectively. The results show that the values of  $\text{HCO}_3^-$  carbon sequestration range from 4.86 to 64.73  $\text{tC}/(\text{a} \cdot \text{km}^2)$  for submerged plants and from 15.68 to 453.01  $\text{tC}/(\text{a} \cdot \text{km}^2)$  for emerged plants respectively in the core zone of the wetland with a mean value of 76.74  $\text{tC}/(\text{a} \cdot \text{km}^2)$ . Furthermore, the fixed  $\text{HCO}_3^-$  carbon consumed by photosynthesis is estimated to be 4 466.27  $\text{tC}/\text{a}$  using this mean value, i. e., approximately 47% of  $\text{HCO}_3^-$  fed by karst underground streams are consumed by aquatic vegetation photosynthesis in the wetland. Remarkable effect of carbon fixation by aquatic plant shows that the photosynthesis of aquatic plants can not be neglected in karst carbon sink study, especially for net carbon sink estimation in karst region.

**Key words:** aquatic vegetation; carbon isotope; karst wetland; carbon fixation; Huixian, Guilin

(编辑 韦复才)