

专题17: 环境地球化学示踪

喀斯特自然生境下植物的重碳酸盐利用特征

吴沿胜^{1,2}, 饶森¹, 吴沿友^{1*}

1. 中国科学院 地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550081; 2. 中国科学院大学 地球科学学院, 北京 100049

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进行光合作用(Xing and Wu, 2012; Rao and Wu, 2017; Wang et al., 2017)。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。

不同植物在同一条件下具有不同的重碳酸盐利用份额, 同一植物在不同环境下, 重碳酸盐利用份额也差异较大。尽管, 有一些方法能够测定不论是野外的还是实验室培养的植物的重碳酸盐利用能力, 但是, 这些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利用重碳酸盐的信息, 因此, 准确测定不同环境下不同苗龄不同生育期的植物利用重碳酸盐利用份额, 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。

在具有典型喀斯特地貌和岩性特征的将军山, 划设3个50×50m样地, 以样地内自然萌生的优势树种圆果化香(*Platycarya longipes*, PL)和提前一年人工种植的喀斯特适生植物喜树(*Camptotheca acuminata*, CA)作为研究对象, 分别在2017年7、8月份测定大气CO₂浓度Ca和胞间CO₂浓度Ci、植物的净光合速率Pn, 同时采集大气、土壤、植物样品, 分析碳同位素比值。计算植物叶片同化CO₂的稳定碳同位素分馏值Δa和同化重碳酸盐的稳定碳同位素分馏值Δb;依据叶片的稳定碳同位素组成δ¹³C的值δ_T、大气CO₂稳定碳同位素组成δ¹³C的平均值δ_a、根际土壤重碳酸盐的稳定碳同位素组成δ¹³C的值δ_b以及Δa和Δb, 计算植物重碳酸盐利用份额f_b(如表1和表2)。计算过程如下:

双端元同位素混合模型可以表示为:

$$\delta_T = \delta_a - f_b \delta_a + f_b \delta_b \quad (1)$$

这里δ_A为假定植物利用大气CO₂为唯一碳源时叶片的δ¹³C值, δ_B为假定植物完全利用来自根部的重碳酸盐为唯一碳源时叶片的δ¹³C值。

植物在行使C₃途径时, 叶片对空气CO₂的分馏Δa满足下列关系(2)。

$$\Delta a = a + (D - a)(C_i / C_a) \quad (2)$$

式(2)中, 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‰; 将以上已知参数代入(2)式得:

$$\Delta a = 4.4‰ + (D - 4.4‰)(C_i / C_a) \quad (3)$$

而δ_A=δ_a-Δa, CO₂水解成碳酸氢根离子时的无机碳分馏为-9.9‰, 植物利用的碳酸氢根离子来自于根部, 没有像CO₂气体进入气孔时存在的同位素扩散分馏, 因此, 叶片对来自根部的重碳酸盐的无机碳的分馏Δb=Δa-14.3‰。而δ_B=δ_b-Δb, 因此, 植物重碳酸盐利用份额f_b则为: f_b=(δ_T-δ_a+Δa)/(δ_b+Δa-δ_a-Δb)。

基金项目: 喀斯特筑坝河流水安全与调控对策-流域植被生态水文效应(批准号: U1612441-02)

第一作者简介: 吴沿胜(1990-), 男, 博士研究生, 研究方向: 喀斯特生态/生物地球化学. E-mail: wuyansheng@mail.gyig.ac.cn

*通信作者简介: 吴沿友(1966-), 男, 研究员, 研究方向: 喀斯特生态/生物地球化学. E-mail: wuyanyou@mail.gyig.ac.cn

表1 喜树(CA)和圆果化香(PL)重碳酸盐利用份额(七月)

样地	植株号	Δa (%)	Δb (%)	f_b (%)	样地	植株号	Δa (%)	Δb (%)	f_b (%)
一区	CA-1	18.19	3.89	11.4	一区	PL-1	17.44	3.14	4.2
一区	CA-2	19.32	5.02	11.4	一区	PL-2	18.67	4.37	10
一区	CA-3	21.58	7.28	21.7	一区	PL-3	18.67	4.37	9.1
一区	CA-4	19.99	5.69	4.6	二区	PL-4	20.64	6.34	16.5
二区	CA-5	19.54	5.24	12.6	二区	PL-5	20.39	6.09	9.8
二区	CA-6	20.90	6.60	12.1	二区	PL-6	20.39	6.09	19.0
二区	CA-7	21.80	7.50	11.9	二区	PL-7	20.14	5.84	25.9
二区	CA-8	20.45	6.15	11.6	二区	PL-8	20.88	6.58	21.8
三区	CA-9	21.35	7.05	14.4	三区	PL-9	18.18	3.88	10.2
三区	CA-10	20.67	6.37	21.4	三区	PL-10	17.93	3.63	14.3
三区	CA-11	19.77	5.47	14.8	三区	PL-11	18.42	4.12	21.4
三区	CA-12	21.12	6.82	15.5	三区	PL-12	19.41	5.11	21.8
平均		20.39	6.09	13.62	平均		19.26	4.96	15.33

表2 喜树(CA)和圆果化香(PL)重碳酸盐利用份额(八月)

样地	植株号	Δa (%)	Δb (%)	f_b (%)	样地	植株号	Δa (%)	Δb (%)	f_b (%)
一区	CA-1	19.65	5.35	13	一区	PL-1	19.09	4.79	30.5
一区	CA-2	19.16	4.86	13.4	一区	PL-2	17.51	3.208	5.5
一区	CA-3	20.64	6.34	26.1	二区	PL-3	17.73	3.434	8.9
一区	CA-4	17.68	3.38	8.2	二区	PL-4	17.73	3.434	7.7
一区	CA-5	21.13	6.83	12.4	二区	PL-5	18.86	4.564	11.9
二区	CA-6	18.18	3.88	6	二区	PL-6	20.67	6.372	11.5
二区	CA-7	22.6	8.3	26.3	二区	PL-7	19.77	5.468	12.5
二区	CA-8	20.39	6.09	20.1	二区	PL-8	19.99	5.694	16.8
二区	CA-9	19.41	5.11	25.3	三区	PL-9	19.77	5.468	15.1
三区	CA-10	19.90	5.60	25	三区	PL-10	19.09	4.79	19.0
三区	CA-11	20.88	6.58	15.7	三区	PL-11	18.41	4.112	3.0
三区	CA-12	24.08	9.78	33.8	三区	PL-12	20.90	6.598	28.7
平均		20.31	6.01	18.78	平均		19.13	4.83	14.26

结果表明,重碳酸盐利用具有种间差异和时空异质性。对于喜树来说,七月份的重碳酸盐利用份额明显小于八月份,与此相匹配的,七月份的实际水分利用效率也低于八月份,这与八月份气温高、土壤水分含量低、重碳酸盐浓度高有关。而对于圆果化香来说,无论是重碳酸盐利用份额,还是实际水分利用效率,七八月份之间无明显差异。此外,贵阳市将军山七月份三个区域喜树重碳酸盐利用份额从4.6%到21.7%,平均值为13.6%,圆果化香重碳酸盐利用份额从4.2%到25.9%,平均值为15.3%。贵阳市将军山八月份三个区域喜树重碳酸盐利用份额从6.0%到33.8%,平均值为18.8%,圆果化香重碳酸盐利用份额从3.0%到30.5%,平均值为14.3%。由此可以看出,植物在重碳酸盐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重碳酸盐的利用,从而适应环境。