

利用 Rb/Sr 值、有机碳氮同位素及¹⁴C 重建贵州喀斯特地区古环境变化

张 坤^{1,3} 季宏兵^{1,2,*} 褚华硕^{1,3} 宋长顺^{1,3} 吴燕飞^{1,3}

(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. 北京科技大学 能源与环境工程学院 北京 100083; 3 中国科学院大学 北京 100049)

摘 要: 本文利用碳酸盐岩风化剖面土壤中 Rb/Sr 值、有机碳氮的稳定同位素值($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 和 $\delta^{15}\text{N}_{\text{org}}$) 并结合¹⁴C 定年结果,讨论了贵州黔西南喀斯特地区晚更新世以来的植被和气候变化情况。结果表明:(1) 晚更新世以来,研究区气候在千年尺度上经历了多个冷湿、干湿循环过程 植被以 C4 植物为主;(2) 研究区在 14 750 a BP 时期可能发生较为极端的气候事件;(3) Rb/Sr 值和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 值可以用来指示古环境变化情况,高 Rb/Sr 值和高 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 值指示湿热气候,低 Rb/Sr 值和低 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 值指示干冷气候。

关键词: 喀斯特; Rb/Sr 值; 有机碳氮同位素; 古环境; 贵州

中图分类号: P597 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9250(2018)02-0107-07 **doi:** 10.14050/j.cnki.1672-9250.2018.46.014

预测未来气候和环境的演变趋势是全球变化研究的主要目的^[1],而古环境研究是通过掌握各自然地理要素之间的相互关系来为预测未来气候变化提供依据^[2]。晚更新世以来,尤其全新世是人类进化最重要的时期,其气候环境特征与人类现存环境很相似,这一时期气候环境变迁的研究越来越成为古环境研究的热点之一^[3-5]。

碳元素是多种温室气体的主要元素,大气 CO₂ 浓度影响全球气候的变化。碳酸盐岩风化是碳元素在各大圈层之间输送的最主要形式^[6],在地质历史上对全球碳循环和气候演化起过决定性的作用,碳酸盐风化壳中往往携带着当地古气候环境变化的各种信息。中国南方碳酸盐岩分布区是全球连片分布、面积最大的碳酸盐岩分布区。贵州作为西南喀斯特区域的中心地带,境内碳酸盐岩山地面积约为 $12.95 \times 10^4 \text{ km}^2$,占全省山地总面积的 73.6%^[7],由于地形地貌、交通等原因,这一区域的古气候变化研究相对较少。近年来,有学者利用泥炭中的 Rb/Sr 值指示地质历史时期的降雨量,并结合磁化率值恢复了大别山全新世中晚期以来的气

候变化^[8]。有机碳氮同位素可用来指示沉积物中有机质的来源,进而重建古环境中植被的变迁^[9]。鉴于此,本研究选取贵州黔西南两处碳酸盐岩风化剖面为研究对象,分析剖面土壤的有机碳氮同位素值($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 和 $\delta^{15}\text{N}_{\text{org}}$)、Rb/Sr 值,并结合¹⁴C 定年结果,讨论研究区晚更新世至整个全新世以来气候和植被的变化,为完善贵州乃至我国西南喀斯特地区环境演变过程和机理提供基础数据和有效补充。

1 研究区概况

研究区位于云贵高原东部的梯级状斜坡地带,地势由高向低从西到东倾斜,为贵州中部丘陵向贵州西北高原过渡的地带,也是贵州省内喀斯特发育最典型的地区之一。研究区属于低纬度高海拔地带,具有亚热带季风气候特征。夏无酷暑,冬无严寒,雨量充沛,日照长,年均气温 16.3℃,年均降雨量 1 471.9 mm。区内河流纵横,地表、地下径流充沛,年径流深 665 mm,年平均径流模数 21.11 L/(s·km²),均为贵州喀斯特区的最高值^[10]。

收稿日期: 2017-10-10; 改回日期: 2017-11-01

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2013CB956702); 国家自然科学基金项目(40473122)。

第一作者简介: 张坤(1986-),男,硕士研究生,主要研究方向为环境地球化学。E-mail: zhangkun@mail.gyig.ac.cn.

* 通讯作者: 季宏兵(1966-),男,博士,研究员,研究方向为环境地球化学。E-mail: jih_0000@126.com.

2 采样与方法

2.1 样品采集

采样工作于2016年8月完成。采样点位于贵州黔西南州泥凼镇泥凼石林(24°49'39.468"N, 104°51'57.744"E)(图1)。本次采集的两个剖面分别为ND剖面(海拔1279 m)和YK剖面(海拔1116 m),剖面土层厚度分别为190 cm和100 cm,采集过程先去除剖面表层覆盖物,从侧面挖出新鲜土壤剖面,分别自上而下间隔20 cm、10 cm的进行依次采样,共采集了22个样品,放密封袋内,防止污染。

2.2 剖面特征及年代确定

在采样现场对两个风化剖面颜色、组成、质地等特征进行的描述(图2)。经实地考察发现,ND剖

面上覆植被为低矮灌草丛, YK剖面在灌草丛中夹杂着少量蕨类植物,两剖面上部均有约20 cm厚的表层土,即根系土层,中部为表征性质较为均一红土层,下伏基岩为白色、灰白色的碳酸盐岩。

本研究在每个剖面中随机选取3个样品,采用AMS法进行¹⁴C年龄测定。定年结果显示,两剖面测年数据经校正的年龄误差最大不超过45 a,且与地层顺序一致,实验结果可靠(表1)。此外,所选样品点的年龄数据随深度均具有极好的线性相关性(表2、图3)。因此,剖面其余深度土壤年龄数值可用线性内插法近似求得。计算结果显示,ND剖面土壤底部年龄约为11250 a BP,属早全新世, YK剖面土壤底部年龄约为17000 a BP,属晚更新世^[11]。

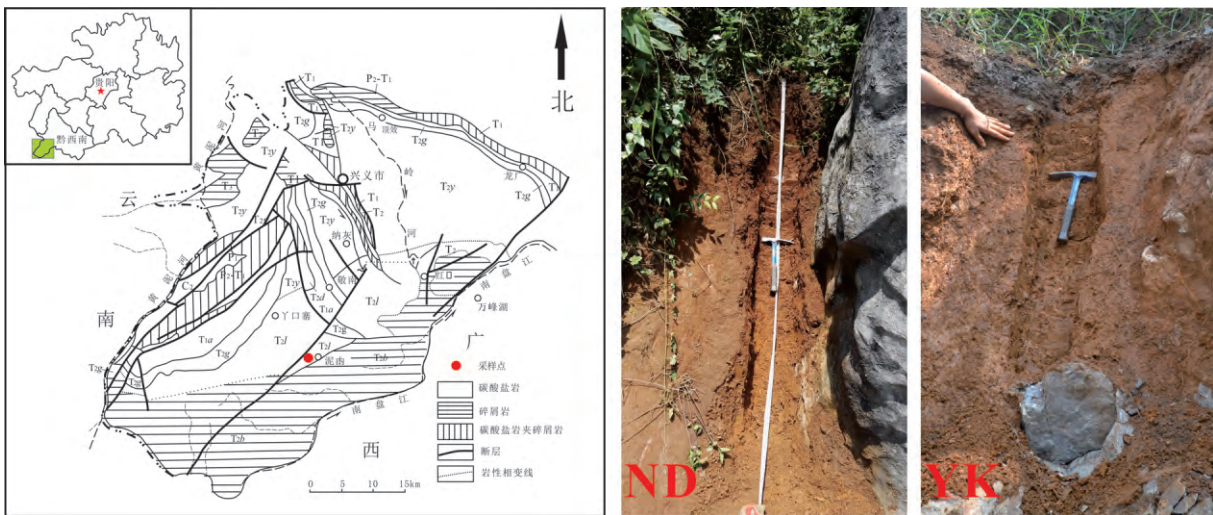


图1 研究区地理位置图及采样点图

Fig. 1 Map showing geographic position and sampling point in the study area

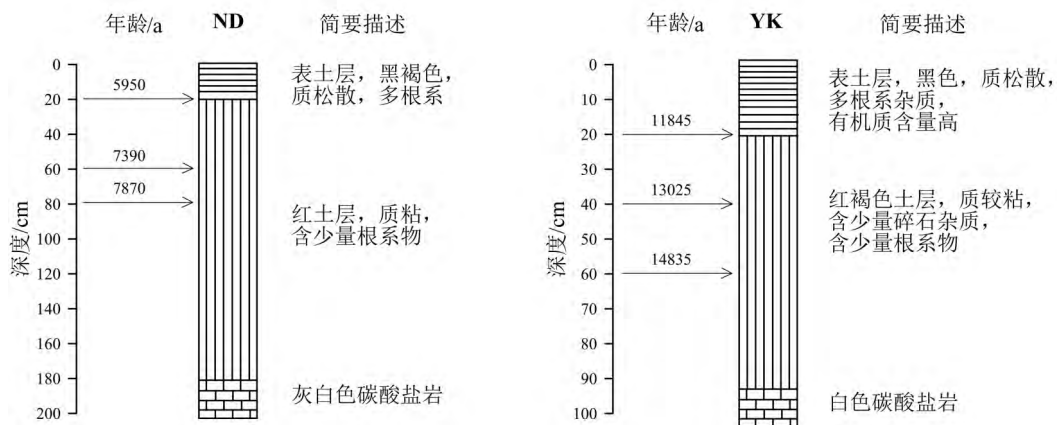


图2 剖面地层及年代位置图

Fig. 2 Map showing stratigraphy and age of the two profiles

表 1 土壤剖面 ^{14}C 年龄结果Table 1 The ^{14}C age result of the two profiles

样品编号	实验室编号	深度/cm	^{14}C 年龄/a BP	误差 1σ /a BP
ND-2	XA18630	20	5 950	40
ND-4	XA18632	60	7 390	30
ND-5	XA18633	80	7 870	35
YK-3	XA18635	20	11 845	40
YK-5	XA18636	40	13 025	45
YK-7	XA18637	60	14 835	45

表 2 ^{14}C 年龄与土壤深度线性关系Table 2 Linear relationship between ^{14}C data and depth

剖面	线性相关方程	相关系数(R^2)
ND	$y=0.030\ 4x-161.939\ 1$	0.991 8
YK	$y=0.013\ 2x-134.474\ 9$	0.985 4

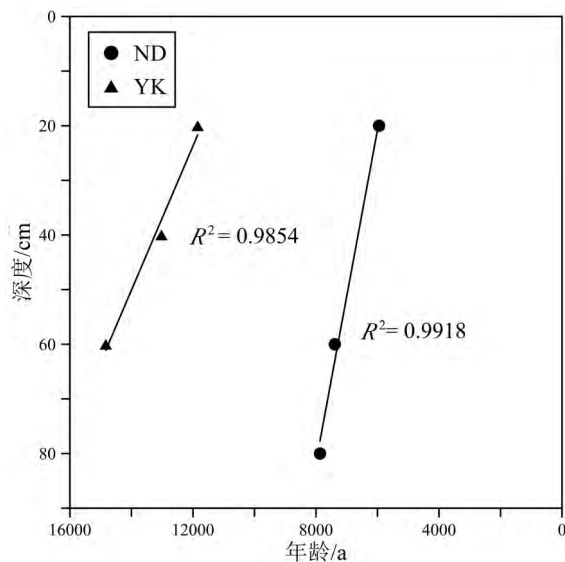


图 3 剖面年龄结果线性分析图

Fig. 3 Linear analysis of age results for the profiles

2.3 实验方法

将样品自然风干后研磨至 200 目,预留好备份样品后,取若干份足量样品分别进行土壤基本理化性质、微量元素、有机碳氮同位素值及 ^{14}C 定年测试分析。

(1) 土壤密度采用蜡封法测定; pH 测试参考国际标准化组织发布的《土壤质量 pH 的测定》(ISO 10390:2005) 标准方法测定,具体步骤为:将处理好的土壤与标准水溶液以体积比为 1:5 的比例混合,用 pH 计测量悬浮溶液的 pH 值;土壤中的有机碳含量用带有固体模块的 TOC 分析仪(Elementar, Germany) 测定土壤有机碳含量,具体操作:土壤粉末样品先用 1 mol/L 的 HCl 浸泡 24 h,去除其中无机碳,再用去离子水反复离心洗涤至中性,在经 60 °C

烘干后研磨至 200 目送去测定。

(2) 微量元素测试在核工业北京地质研究院完成,仪器采用高分辨率电感耦合等离子体质谱仪(HR-ICP-MAS, ELEMENT XR),分析精度优于 1%~3%,检出限一般低于 50×10^{-12} ,测试标准误差小于 10%。

(3) 有机碳氮同位素测试在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完成,使用的质谱仪为德国 Finnigan Mat 公司生产的 MAT252 型气体同位素质谱仪。仪器的主要技术指标是,质量范围:1~150 amu(10 kv);准确度: $\delta^{13}\text{C} \leq 0.01\%$;精密性: $U \leq 0.01\%$ ($\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$);分辨率: $M/\Delta M = 200$ (10% valley)。测试过程采用真空热解法将样品中的有机碳和氮组分分别转化成可供质谱仪测量的纯净的 CO_2 和 N_2 ,再上机测试。

(4) 年龄测定在西安加速器质谱中心完成。利用 AMS 法测定的步骤先是将土壤有机质转变为 CO_2 ,然后将 CO_2 制备成石墨靶,把石墨靶样装入离子源靶座内,进行上机测定,计算年龄所用的 ^{14}C 半衰期为 5 568 a。

3 结果与分析

3.1 土壤理化性质分析

表 3 为有机元素及碳氮同位素测试结果,可以看出 ND 剖面土层 pH 值在 6.5~7.0 之间,而 YK 剖面 pH 值在 6.9~7.5 之间,两剖面 pH 均在中性附近,是典型的红色石灰土特征^[12]; ND 剖面土层密度在 0.92~1.08 g/cm^3 之间, YK 剖面土层密度在 0.95~1.06 g/cm^3 之间。ND 和 YK 剖面基本参数随深度的变化特征如图 4 所示。图中,两剖面土壤有机碳和有机氮含量随深度呈现相似的变化趋势,即在地表均为最大值,第二层土壤开始向下趋于稳定,这主要因为土壤表层的动植物残体分解导致表层土壤有机碳含量最高,而地表下有机物含量降低且趋于稳定。

3.2 Rb、Sr 含量及 Rb/Sr 值

铷(Rb)和锶(Sr)有相近的地球化学行^[8], Rb 的离子半径较大,吸附性较强,容易被粘土矿物吸附而保留下来,而 Sr 的离子半径较小,容易被地表水或者地下水带走,有研究指出, Rb/Sr 值与 Sr 含量关系更紧密,因此, Rb/Sr 值的大小可以反映淋溶程度,即降雨量的大小,这与前人的研究结果一致^[8,13]。

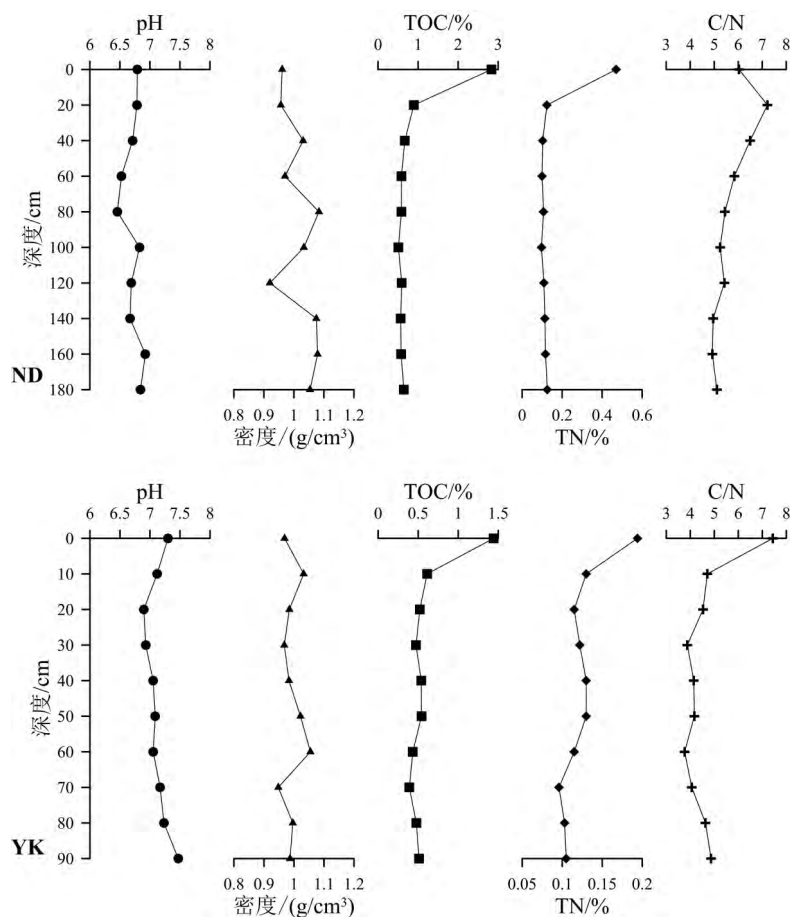


图4 剖面基本参数

Fig. 4 Basic parameter of the two profiles

表3 剖面土壤有机元素含量及有机碳、氮同位素测试结果

Table 3 The content of C, N and isotope of $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ and $\delta^{15}\text{N}_{\text{org}}$ of the two profiles

样品编号	深度/m	C/%	N/%	$\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}/‰$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{org}}/‰$
ND-1	0	2.835	0.470	-15.8	5.1
ND-2	20	0.895	0.124	-16.1	11.6
ND-3	40	0.669	0.103	-16.5	11.5
ND-4	60	0.584	0.100	-16.6	10.3
ND-5	80	0.583	0.107	-16.6	6.4
ND-6	100	0.509	0.097	-16.8	11.2
ND-7	120	0.591	0.109	-17.0	13.7
ND-8	140	0.565	0.114	-17.0	13.5
ND-9	160	0.576	0.117	-17.1	12.6
ND-10	180	0.644	0.126	-17.3	12.6
YK-1	0	1.443	0.194	-14.8	12.6
YK-2	10	0.612	0.130	-17.8	16.4
YK-3	20	0.521	0.115	-18.0	11.7
YK-4	30	0.473	0.122	-18.3	9.5
YK-5	40	0.539	0.130	-18.5	9.3
YK-6	50	0.542	0.130	-18.2	9.7
YK-7	60	0.433	0.115	-18.1	10.5
YK-8	70	0.39	0.096	-18.0	11.2
YK-9	80	0.477	0.103	-17.8	8.9
YK-10	90	0.511	0.105	-17.9	7.4

对于我国西南,尤其是贵州喀斯特地区,影响土壤遭受淋失程度的气候要素中,降雨量占主导地位,降雨量的变化也直接影响当地植被的发育情况,降雨量的增加会加剧土壤淋失和可溶物质的迁移,Rb/Sr值升高。图5中,ND剖面的Rb、Sr含量及Rb/Sr比值的均值分别为103.19 $\mu\text{g/g}$ 、80.12 $\mu\text{g/g}$ 和1.29,而YK剖面三者均值分别为151.6 $\mu\text{g/g}$ 、157.1 $\mu\text{g/g}$ 和0.97。

3.3 有机碳、氮同位素测试结果

有研究指出,我国南方红土沉积物中的有机质主要来自于陆生植物^[14],而陆生植物主要包括C3和C4植物,二者不同的光合作途径使得它们具有不同的碳同位素组成($\delta^{13}\text{C}$),且在植物分解形成有机物的过程当中 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 变化不大^[15],而且C3和C4植物所生长的生态环境不一样,C3植物在低温、湿润和高大气 CO_2 浓度的环境条件下具有较好的生长优势;而C4植物在高温、干旱和低大气 CO_2 浓度的环境条件下由于具有更高的水分利用效率和光合作用效率,因而更具有生长优势^[16-19],因此,我们

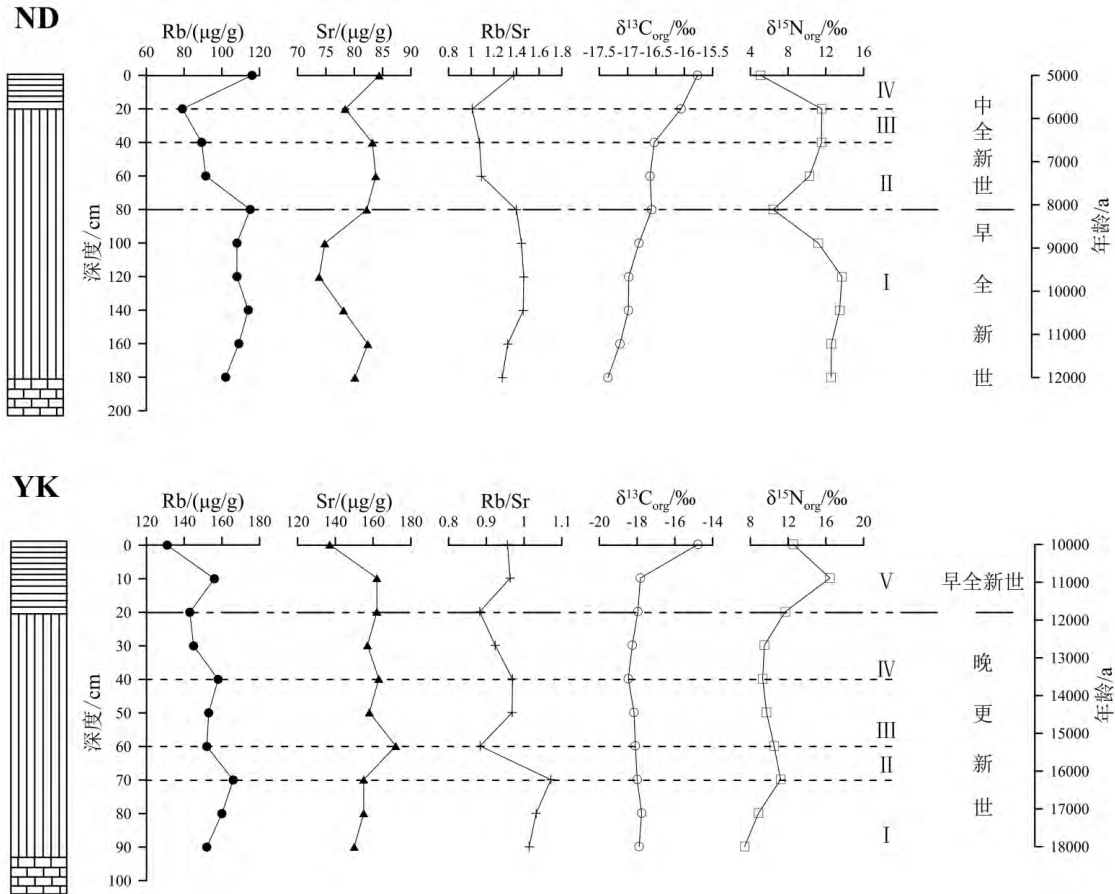


图 5 Rb 和 Sr 含量、Rb/Sr、 $\delta^{13}C_{org}$ 值及 $\delta^{15}N_{org}$ 值随深度变化情况

Fig. 5 Concentrations of Rb and Sr, Rb/Sr, $\delta^{13}C_{org}$ and $\delta^{15}N_{org}$ with increasing depth

可以通过土壤剖面中的 $\delta^{13}C_{org}$ 组成来估算当时地表植被中 C3 和 C4 植物的相对占比^[20-21] 进而重建研究区古环境的植被变迁^[22]。

由表 3 可见 ND 剖面中 $\delta^{13}C_{org}$ 的变化范围是 -17.35‰ ~ -15.77‰ (PDB), 平均值为 -16.68‰, $\delta^{15}N_{org}$ 的变化范围是 5.09‰ ~ 13.71‰ (air), 平均值为 10.84‰; YK 剖面中 $\delta^{13}C_{org}$ 的变化范围是 -18.47‰ ~ -14.78‰ (PDB), 平均值为 -17.72‰, $\delta^{15}N_{org}$ 的变化范围是 7.38‰ ~ 16.43‰ (air), 平均值为 10.71‰。而 $\delta^{13}C_{org}$ 值在 C₃ 植物的范围为 -32‰ ~ -21‰, 在 C₄ 植物的范围为 -17‰ ~ -9‰^[21]。

4 讨论

综合分析 ND 和 YK 剖面的 Rb/Sr 值与碳氮同位素数据, 结合 ¹⁴C 测年结果, 本研究分别把两个剖面的古土壤沉积时期分为四个和五个阶段 (图 5)。

ND 剖面第 I 阶段, 11 250 ~ 7 870 a BP (180 ~ 80 cm), 属早全新世, Rb/Sr 值升高且后期维持在较高

水平, 降雨量增加且持续, $\delta^{13}C_{org}$ 值升高, 在这一时段, 研究区气候以湿热为主, 植被以 C4 植物为主。在这期间里, 9 300 ~ 7 870 a BP (120 ~ 80 cm), $\delta^{15}N_{org}$ 值逐渐减小, 可能有其他外源 $\delta^{15}N_{org}$ 的混入使得土壤 $\delta^{15}N_{org}$ 值偏重。第 II 阶段 8 000 ~ 6 650 a BP (80 ~ 40 cm), Rb/Sr 减小, $\delta^{13}C_{org}$ 升高, 此时已进入中全新世阶段, 这段时间气候干热, C4 植物生长繁茂; $\delta^{15}N_{org}$ 值降低, 可能外源的干扰减小, 土壤逐渐恢复到天然土壤的状态, 使得 $\delta^{15}N_{org}$ 值逐渐变轻^[23]。第 III 阶段 6 650 ~ 5 950 a BP (40 ~ 20 cm), Rb/Sr 值进一步减小, $\delta^{13}C_{org}$ 值升高, 这期间气温下降, 这也与贵州荔波董歌洞 D4 石笋 $\delta^{18}O$ 记录研究结果相符^[24], 气候以干冷为主。第 IV 阶段 5 950 a BP (20 ~ 0 cm) 以来, Rb/Sr 值增大, $\delta^{13}C_{org}$ 值升高, 推测研究区气候以湿热为主, C4 植物生长繁茂, 这也与采样实地考察情况相符 (图 1)。 $\delta^{15}N_{org}$ 值大幅变轻, 这可能是受表层土壤生物的影响。

YK 剖面第 I 阶段, 17 000 ~ 15 500 a BP (90 ~ 70 cm), 属晚更新世, Rb/Sr 值升高, $\delta^{13}C_{org}$ 值变化不

大在-18‰左右,推测在这一时段,降水增加,温度适宜,C3、C4植物均生长繁茂,但是仍以C4植物为主, $\delta^{15}\text{N}_{\text{org}}$ 值显著升高,很可能在这期间动物生物量也显著增加,而动物粪便可以导致土壤 $\delta^{15}\text{N}_{\text{org}}$ 值变重^[25]。第II阶段,15 500~14 750 a BP(70~60 cm),Rb/Sr值减小, $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}_{\text{org}}$ 值均略微降低,气候变得干冷,C3植物比例升高。第III阶段,14 835~13 025 a BP(60~40 cm),Rb/Sr值升高且维持 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}_{\text{org}}$ 值均略微升高,同样结果也出现在石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 记录的研究中,这一时期处于Allerød暖期阶段^[24,26],气候湿热。值得注意的是,在14 750 a BP(60 cm)附近,Sr含量及Rb/Sr值出现剧烈波动,推测在这一时间可能发生较为极端的气候事件。第IV阶段,13 025~11 845 a BP(40~20 cm),Rb/Sr值减小, $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 值不变,这段时期刚好经历了新仙女木事件(Younger Dryas),它是末次冰期向全新世过渡的急剧升温过程中最后一次快速降温变冷事件,全球范围内气温最大降幅可达8℃^[27],这一时期内少雨及几次强烈的降温可能导致C3植物比例的减少。第V阶段,11 845 a BP(20~0 cm)以来,进入早全新世,Rb/Sr值先升高后减

小, $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 值降低, $\delta^{15}\text{N}_{\text{org}}$ 值波动较大,推测这一时期气候干湿交替,气温适宜,植物生长旺盛,当然也不排除表层土壤生物对 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}_{\text{org}}$ 值的影响。

5 结论

贵州黔西南两个典型的碳酸盐岩土壤剖面记录了研究区自晚更新世以来的植被构成和气候变化,对剖面的Rb/Sr值、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 和 $\delta^{15}\text{N}_{\text{org}}$ 值及 ^{14}C 定年进行分析,结果表明:(1)晚更新世以来,研究区气候在千年尺度上经历了干冷-湿热-干冷-温湿-干热-湿热的变化过程,地表植被中,C4植物比例较高。(2)Sr含量及Rb/Sr值在14 750 a BP(60 cm)左右出现剧烈波动,推测研究区在这一时间可能发生较为极端的气候事件。(3)Rb/Sr值和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 值可以作为重建古土壤时期的环境变化情况的有效指标,即高Rb/Sr值和高 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 值指示湿热气候,低Rb/Sr值和低 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 值指示干冷气候。

致谢 感谢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安宁、王羽老师,核工业北京地质研究院刘牧老师及西安加速器质谱中心的杜花老师对本次实验测试的帮助。

参 考 文 献

- [1] 安芷生,吴锡浩,卢滨涛,等.最近18000年中国古环境变迁[J].自然科学进展:国家重点实验室通讯,1991,1(2):153-159.
- [2] 吴永红.长江三角洲与贵州草海地区全新世环境变化对比研究[D].上海:华东师范大学,2012.
- [3] Arnold J R, Libby W F. Age determinations by radiocarbon content: Checks with samples of known age[J]. Science, 1949, 110(2869): 678-680.
- [4] Beck J W, Récy J, Taylor F, et al. Abrupt changes in early Holocene tropical sea surface temperature derived from coral records[J]. Nature, 1997, 385(6618): 705-707.
- [5] Bond G, Showers W, Cheseby M, et al. A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates[J]. Science, 1997, 278(5341): 1257-1266.
- [6] Jin L X, Ogrinc N, Hamilton S K, et al. Inorganic carbon isotope systematics in soil profiles undergoing silicate and carbonate weathering (Southern Michigan, USA) [J]. Chemical Geology, 2009, 264(1-4): 139-153.
- [7] 张莉,季宏兵,高杰,等.贵州碳酸盐岩风化壳主元素、微量元素及稀土元素的地球化学特征[J].地球化学,2015,44(4):323-336.
- [8] 黄润,朱诚,王升堂.天堂寨泥炭地层的磁化率,Rb/Sr值及其反映的古气候意义[J].地理科学,2007,27(3):385-389.
- [9] 刘强,顾兆炎,刘嘉麒,等.62kaBP以来湖光岩玛珉湖沉积物有机碳同位素记录及古气候环境意义[J].海洋地质与第四纪地质,2005,25(2):115-126.
- [10] 徐柯健,李兴中,刘嘉麒.贵州兴义喀斯特景观特征[J].中国岩溶,2008,27(2):157-164.
- [11] 吉汝安.贵州第四纪自然环境的演变[J].贵州地质,1992,9(1):59-62.
- [12] 席承藩.论华南红色风化壳[J].第四纪研究,1991,11(1):1-8.
- [13] 陈骏,安芷生.最近800ka洛川黄土剖面中Rb/Sr分布和古季风变迁[J].中国科学: D辑,1998,28(6):498-504.
- [14] 刘嘉麒,刘强.中国第四纪地层[J].第四纪研究,2000,20(2):129-141.
- [15] Boutton T W, Archer S R, Midwood A J, et al. $\delta^{13}\text{C}$ values of soil organic carbon and their use in documenting vegetation change in a subtropical savanna ecosystem[J]. Geoderma, 1998, 82(1): 5-41.
- [16] Deines P. The isotopic composition of reduced organic carbon[J]. Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. The Terrestrial Environment, 1980, 1: 329-406.
- [17] O'Leary M H. Carbon isotope fractionation in plants[J]. Phytochemistry, 1981, 20(4): 553-567.

- [18] O'Leary M H. Carbon isotopes in photosynthesis [J]. *Bioscience*, 1988, 38(5): 328-336.
- [19] Farquhar G D, Ehleringer J R, Hubick K T. Carbon isotope discrimination and photosynthesis [J]. *Annual Review of Plant Biology*, 1989, 40(1): 503-537.
- [20] Boutton T W, Archer S R, Midwood A J, *et al.* $\delta^{13}\text{C}$ values of soil organic carbon and their use in documenting vegetation change in a subtropical savanna ecosystem [J]. *Geoderma*, 1998, 82(1): 5-41.
- [21] Landi A, Anderson D W, Mermut A R. Organic carbon storage and stable isotope composition of soils along a grassland to forest environmental gradient in Saskatchewan [J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 2003, 83(4): 405-414.
- [22] 王国安. 稳定碳同位素在第四纪古环境研究中的应用 [J]. *第四纪研究*, 2003, 23(5): 471-484.
- [23] Williams L B, Ferrell R E, Hutcheon I, *et al.* Nitrogen isotope geochemistry of organic matter and minerals during diagenesis and hydrocarbon migration [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, 59(4): 765-779.
- [24] 覃嘉铭, 袁道先, 程海, 等. 新仙女木及全新世早中期气候突变事件: 贵州茂兰石笋氧同位素记录术 [J]. *中国科学: D 辑*, 2004, 34(1): 69-74.
- [25] Minagawa M, Wada E. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1984, 48(5): 1135-1140.
- [26] 覃嘉铭, 袁道先, 程海, 等. 贵州都匀七星洞石笋剖面晚更新世高分辨率的气候地层学 [J]. *第四纪研究*, 2004, 24(3): 318-324.
- [27] 刘嘉麒, 倪云燕, 储国强. 第四纪的主要气候事件 [J]. *第四纪研究*, 2001, 21(3): 239-248.

Reconstruct Paleoenvironmental Changes Based on the Results of Rb/Sr , $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{org}}$ and ^{14}C in Guizhou Karst Area

ZHANG Kun^{1,3}, JI Hongbing^{1,2}, CHU Huashuo^{1,3}, SONG Changshun^{1,3}, WU Yanfei^{1,3}

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guiyang 550081, China; 2. University of Science and Technology Beijing, School of Energy and Environmental Engineering, Beijing 100083, China; 3. University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China)

Abstract: In this paper, Rb/Sr ratio, organic carbon and nitrogen isotope ($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ and $\delta^{15}\text{N}_{\text{org}}$) and ^{14}C dating results in two red soil profiles (ND and YK) were used to discuss vegetation and climate change since late Pleistocene at Southwest Guizhou. The results show that: (1) Since the late pleistocene, the climate of the study area has experienced several cold-hot and dry-humid cycle processes at the millennium scale, and the plants are mainly C4 plants. (2) There may have been more extreme weather events in the research area of 14 750 a. (3) The Rb/Sr ratio and $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ values can be used to reconstruct the environmental changes in the region of the ancient soil. The high Rb/Sr ratio and the high $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ indicate the hot-humid climate, low Rb/Sr ratio and low $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ indicate the dry-cold climate.

Key words: karst; Rb/Sr; $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ and $\delta^{15}\text{N}_{\text{org}}$; ancient environment; Guizhou