

## 贵州雷公坪山地沼泽泥炭年代学和沉积速率研究

张辉<sup>1,2,3</sup>, 李松<sup>1,3</sup>, 司云云<sup>1</sup>, 刘蕊<sup>1,3</sup>, 罗璇<sup>1,3</sup>, 何严华<sup>1</sup>

(1. 贵州师范学院, 贵州 贵阳 550018; 2. 贵州大学, 贵州 贵阳 550025;  
3. 贵州省流域地理国情监测重点实验室, 贵州 贵阳 550018)

[摘要]通过对贵州东南部雷公坪泥炭进行年代学和有机碳同位素测定,雷公坪泥炭剖面底部150 cm处年龄为13 360±40 a B. P.,在中部70 cm处年龄为4 570±30 a B. P.,顶部10 cm处年龄为420±30 a B. P.,建立了雷公坪泥炭沉积的年代学序列,计算出泥炭层堆积速率由上至下分别为23.81 cm·ka<sup>-1</sup>、14.46 cm·ka<sup>-1</sup>、9.10 cm·ka<sup>-1</sup>。获得泥炭层泥炭有机碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 分别为-27.5‰、-28.8‰、-28.5‰,结合其他区域气候记录推断,说明研究区泥炭发育于相对温暖湿润的气候环境。

[关键词]雷公坪;泥炭;AMS<sup>14</sup>C;沉积速率;贵州

[中图分类号]P512.2;P512.32 [文献标识码]A [文章编号]1000-5943(2021)04-0382-05

### 1 绪论

泥炭沼泽是湿地生态系统中的比较特殊的种类,与其它湿地生态类型最终要的区别是有大量的有机物质积累,沉积形成具有一定厚度的黑色泥炭层。人们对泥炭沼泽的关注和研究有着较为悠久的历史,早在两千年前的古罗马时代就有关于开采泥炭用于燃料的记录(陈槐等,2021)。上世纪70年代,由于全球能源危机的产生,人们对泥炭的开发利用研究重点在于泥炭资源化的利用,但随着近代科学的发展,尤其是人们对可持续发展理念的不断深入理解,越来越认识到泥炭沼泽湿地对于地球生态环境的重要意义,于是人们对泥炭沼泽开发利用转为保护和建设(陶发祥,1996;王华等,2003)。随着全球气候变化加剧,带来了人们对未来气候变化的担忧,而探求未来气候变化的趋势必须要更好的对过去地球气候变

化有着清晰的认识,因此,当今气候变化研究的一个热点是通过多种研究手段力求探明地球过去千万年的气候变化情况。而在众多的古气候环境演变研究载体中,泥炭无疑是一种良好的古气候地质信息载体。

以泥炭为载体进行古气候环境研究具有较为悠久的历史,早在1876年人们就通过对泥炭地层的发育情况和泥炭层中的生物遗存状况来推断过去的气候状况。相比于其他的古气候环境演变研究载体而言,泥炭具有经济易得、沉积连续性好、时间尺度较长和古气候环境代用指标较为广泛等优势,是一种优良的古气候环境演变研究载体。尤其是山地泥炭沼泽中的泥炭由于海拔较高,受人为影响较小,其形成和发育完全是受到当地气候环境变化影响,能够更为准确的记录下当地气候环境变化信息,因此备受第四纪研究学者的重视。(张愈等,2015)通过对浙江千亩田山地泥炭沼泽的研究表明该区泥炭沉积始于4 ka左右,

[收稿日期]2021-07-06 [修回日期]2021-09-19

[基金项目]国家自然科学基金(41861035)、贵州省科技厅科技支撑项目(黔科合支撑[2018]2776)、贵州省教育厅青年科技人才成长项目(黔教合KY[2016]224)共同资助。

[作者简介]张辉(1986—),男,博士研究生,古生物学与地层学专业,主要从事环境演变和古生物研究。Email:724291335@qq.com。

期间经历多个气候变化周期;李远平等(2017)通过大九湖泥炭植硅体研究,对大九湖泥炭沼泽地13 ka 以来的古水位变化进行了还原,反演出该区域的全新世以来的气候变化过程。全明英(2019年)通过对贵州东部梵净山地区山地泥炭研究表明该地泥炭形成于11 ka,以孢粉为环境代用指标进行研究发现,该区域气候11 ka 以来经过了五个冷暖干湿周期变化。

贵州地处我国西南地区,独特的地理位置使其处于冬季风和夏季西南季风、东南季风的共同影响,是气候变化的敏感地区。因此,在贵州地区寻找山地泥炭沼泽地、通过对其进行年代学和沉积学的研究,能够对在该区域进行以山地泥炭为载体的古气研究有着重要的意义。近期对贵州山地泥炭沼泽调查过程中,在贵州东南地区雷公山自然保护区雷公坪发现近面积约20公顷的山地泥炭沼泽。经实地探勘表明,该地泥炭沉积厚度大、沉积连续,受人为扰动小,是难得的泥炭古气候环境演变研究载体。本研究旨在探明雷公坪泥炭沉积年代学问题,通过沉积速率初步探究其形成过程并尝试推断该区古气候演变情况。

## 2 研究区域概况及采样

雷公坪位于贵州省东南部雷山县东北部,处在贵州著名旅游景点西江千户苗寨和方祥乡的中间位置,是雷公山国家国家级自然保护区的重要组成部分,处于保护区核心区域(周琦等,2018)。雷公坪是一个山地环绕的高山盆地,处于雷公山苗岭主峰北部,海拔约在1800 m左右,有文献记载:“雷公坪,高山盆地,险峰环列,悬崖峭壁”(欧阳克俭,1997)。该区处于长江水系和珠江水系的分水岭,气候属于中亚热带山地湿润气候,年均温在9.2℃左右,湿度常年保持在85%~91%,年降水量在1300 mm左右(王文杰等,2017)。植被为常绿落叶阔叶林混交林为主,土壤为黄棕壤(马义波等,2020),雷公坪泥炭地主要为泥炭沼泽土,其上多生长草本植物和泥炭藓,其内部北侧发育自西向东小溪一条。

经过对雷公坪泥炭沼泽地实地踏勘,选取六个点位采用土壤钻进行初步岩性取样,以查看剖面泥炭发育状态和深度。最后选取泥炭深度最大和发育最好的中东部进行人工开挖剖面,采样点坐标

为:26.4664°N,108.2441°E,海拔高度1802 m,剖面深度为1.7 m。从上至下,表层0~25 cm为棕色泥炭,里面有植物根系;25~90 cm为黑色泥炭,还有少量植物根系;90~140 cm为致密黑色泥炭;140~150 cm为黑褐色淤泥层,其间夹杂砂砾;150~170 cm为黄褐色基岩风化层。以2.5 cm为采样间距从上至下共采集样品75个,采样剖面深度范围为0~150 cm,样品采集后放入自封袋密封,送回实验室冷冻保存。在剖面10 cm、70 cm和150 cm处采集样品进行年代学测试。

## 3 实验方法及结果

$^{14}\text{C}$ 测年方法是美国物理学家 Libby 于1949年创造出来的(Libby WF et al,1949)。其原理是有机体内的碳元素会随着物体死亡而停止与外界进行物质交换,于是体内所含的 $^{14}\text{C}$ 就会随着时间的变化按照指数规律进行衰减,通过测试有机体中的现存 $^{14}\text{C}$ 含量,经过计算便可以推算出有机体停止碳元素交换的那一时刻,即为该有机体死亡的时刻。 $^{14}\text{C}$ 测年技术的出现,改变了根据观察和经验判断有机物形成年代的方法,在考古学中,尤其是在没有文字记载的古物年龄断代上,得到广泛应用。随着科技的发展, $^{14}\text{C}$ 测年手段也不断进行优化,历经了固体法、气体计数法、液体计数法,尤其是在上世界八十年代出现的加速器质谱(AMS) $^{14}\text{C}$ 测年方法,更是达到了前所未有的定年精度和广度(Bard E,1988)。相较于传统的 $^{14}\text{C}$ 测年方法,AMS $^{14}\text{C}$ 测年所需样品少,测试样品材料可以为木炭、贝壳、泥炭、淤泥、植物炭纤维素等等,极大的拓展了 $^{14}\text{C}$ 测年的应用范围。

由于科学研究发现,在地球地质不同历史时期,由于受到太阳活动、宇宙环境、地球气候变化及海平面升降等因素的影响,大气中含有的 $^{14}\text{C}$ 的浓度也会发生相应的改变,因此会导致在 $^{14}\text{C}$ 测年过程中出现年龄计算结果偏差。如果要消除这种偏差,就必须得到不同时期大气中 $^{14}\text{C}$ 的浓度,在计算年龄的过程中加以校正。由于树木、珊瑚等动植物在生长过程中具有年轮生长特性,因此就可以根据测量此类现生动植物体内在不同生长时期年轮上的 $^{14}\text{C}$ 浓度,经过数学统计方法计算后可以得到相应的 $^{14}\text{C}$ 年代校正曲线。目前国际上 $^{14}\text{C}$ 测年采用的最新北半球 $^{14}\text{C}$ 年代校正曲线为 IN-

TCAL13(Reimer PJ et al,2013)。

雷公坪泥炭年代学测试由美国 BETA 实验室完成,年代校正曲线采用的是 INTCAL13,测试结果见表 1。

表 1 雷公坪泥炭年代学测试结果

Table 1 Tested results of peat chronology in Leigongping

编号	深度/cm	年龄/a B. P.	$\delta^{13}C/‰$
LGP-10	10	420±30	-28.5
LGP-70	70	4570±30	-28.8
LGP-150	150	13360±40	-27.5

### 4 讨论

#### 4.1 年代学

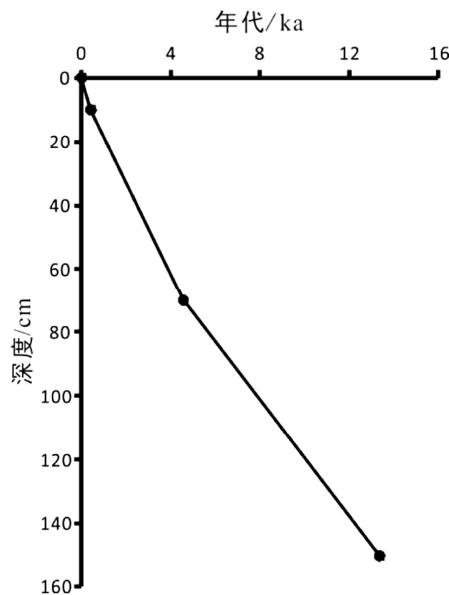


图 1 雷公坪泥炭年代-深度模式图

Fig. 1 Age-depth model of Leigongping peat

根据表 1 和图 1 可以看出,雷公坪泥炭测年结果显示泥炭年龄没有出现倒置,说明此处剖面泥炭沉积较好,未受到外部因素扰动,基本上呈现出自然沉积状态,在年龄上呈现出下老上新的正常沉积序列。底部样品 LGP-150 的年龄为 13 360±40 a B. P.,其时代为晚更新世晚期,因此可以基本上可以确定,雷公坪泥炭主要是全新世这一时间段的产物。现有研究表明我国泥炭发育主要分为四个发育期:新近纪、早更新世、晚更新世和全新世(文雪峰等,2012)。其中,全新世泥炭发育最为广泛,通常认为这一时期气候更加适宜泥炭发育,是我国浅表性泥炭的主要成炭期(陈槐

等,2021)。在我国泥炭研究较为深入的四川若尔盖地区(Hong YT et al,2005;刘利娟等,2018)、湖北大九湖(李远平等,2017)、福建仙山(雷国良等,2014)等地区的浅表泥炭,虽然开始沉积时间和年代跨度上有所差别,但基本上全新世时期发育的泥炭都占到主导地位。贵州地区泥炭研究较为全面的是草海地区,虽然其泥炭发育由多个层次,但沉积厚度最大、发育程度最好的仍是全新世时期泥炭。近些年通过贵州龙里地区、梵净山地区山地泥炭研究表明,贵州山地泥炭在全新世早期开始发育,其发育过程涵盖整个全新世(林树基等,1984;乔玉楼,1994;全明英,2019)。其中在贵州中部龙里地区,山地泥炭开始发育于 8 820 a B. P. 左右,贵州东部梵净山九龙池沉积剖面上有机质开始明显积累始于 10 472 a B. P. 左右,而根据雷公坪泥炭剖面年代深度-模式换算结果表明,在剖面深度 140 cm 处泥炭开始丰富积累时的年代应为 12 261 a B. P.,其时代明显要早于九龙池。通过对比可以发现,雷公坪和九龙池均为高山盆地沼泽沉积,但由于雷公坪海拔高度相较于九龙池 2 200 m 的海拔高度低近 400 m,且雷公坪纬度相较于九龙池低近 1.5°左右,因此可以初略估算雷公坪同时期平均温度相较于九龙池高 3℃左右,因此泥炭发育时间雷公坪早于九龙池是不同海拔和纬度在同种气候条件下影响的必然结果。

#### 4.2 沉积速率

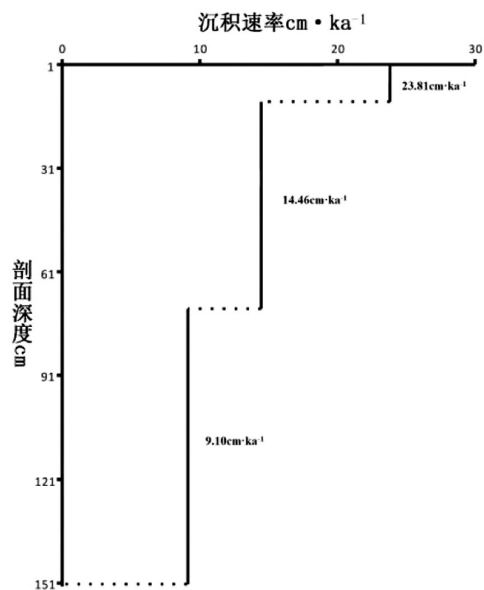


图 2 雷公坪泥炭沉积速率图

Fig. 2 Sedimentary rate of Leigongping peat

本文雷公坪泥炭沉积速率计算公式为

$$r=h/t$$

式中: $r$ 为沉积速率, $\text{cm}/\text{ka}$ ; $h$ 泥炭沉积厚度, $\text{cm}$ ; $t$ 为沉积时间, $\text{ka}$ 。

通过计算表明(图2),雷公坪泥炭在上部沉积速率最大,为 $23.81 \text{ cm} \cdot \text{ka}^{-1}$ ;中部沉积速率为 $14.46 \text{ cm} \cdot \text{ka}^{-1}$ ;下部沉积速率最小,为 $9.10 \text{ cm} \cdot \text{ka}^{-1}$ ;其平均沉积速率为 $11.23 \text{ cm} \cdot \text{ka}^{-1}$ 。相较于贵州草海泥炭和梵净山九龙池沉积速率均在 $30 \text{ cm} \cdot \text{ka}^{-1}$ 以上来说,雷公坪泥炭沉积速率相对较慢,但与贵州中部龙里草原泥炭( $12.47 \text{ cm} \cdot \text{ka}^{-1}$ )和湖北大九湖泥炭( $14.16 \text{ cm} \cdot \text{ka}^{-1}$ )沉积速率较为相似。虽然在不同地区泥炭沉积速率不一致,但总体上仍处在一个数量级上,说明不同区域泥炭沉积都是一个较为缓慢稳定的过程。通过图1可以看出,雷公坪泥炭沉积年代与剖面深度呈现出较好的线性关系,说明雷公坪泥炭沉积过程较为稳定,未出现较大沉积过程突变。雷公坪泥炭沉积速率由下往上逐渐增大,一方面可能是由于泥炭沉积物质效率呈现出随年代变化越来越快的趋势,另一种原因可能是随着泥炭剖面深度的增加,泥炭受到的压实作用越来越强导致的。通过对整个泥炭剖面的观察可以发现,下部泥炭呈现出密度大,由下向上剖面泥炭密度越来越逐渐变小,也可以说明这个情况。整个泥炭剖面从 $140 \text{ cm}$ 向上,沉积均为泥炭,未出现砂、砾层,结合年代学数据可以说明雷公坪泥炭是晚更新世晚期一直延续整个全新世的连续沉积的泥炭。

### 4.3 古气候

相关研究表明,湖泊、沼泽中沉积物中的有机碳同位素是一个很好的气候环境代用指标,可以很好的反映沉积物中有机质的来源、沉积区域的植被变化等情况(陶发祥等,1996;张辉等,2012;雷国良等,2014)。根据表1可知,雷公坪泥炭在底部、中部和上部的三个泥炭有机碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 分别为 $-27.5\text{‰}$ 、 $-28.8\text{‰}$ 、 $-28.5\text{‰}$ ,说明在该泥炭区域植被以 $\text{C}_3$ 植被为主,与现阶段雷公坪植被多为苔藓较为类似,说明整个泥炭沉积过程中气候较为暖湿。三个阶段同位素值对比可以发现,在雷公坪泥炭沉积的早期,气候环境应该比后来更加暖湿,而后气候变化逐渐趋于稳定。这也与草海泥炭和梵净山九龙池所反映的贵州地区

全新世气候总体趋势较为一致。

## 5 结论

通过研究表明,贵州东南部雷公坪泥炭沉积开始于 $13 \text{ ka}$ 左右,沉积速率为 $11.23 \text{ cm} \cdot \text{ka}^{-1}$ ,整个泥炭沉积过程虽然较为缓慢,但沉积连续且沉积过程贯穿整个全新世,是研究该区域全新世古气候环境演变的良好载体。通过泥炭剖面底部、中部和上部三个测年点位的有机碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 测试结果表明,该区域泥炭沉积是暖湿气候环境条件下的产物。

由于剖面年代学控制点位少,整个泥炭形成过程的年代学研究还有待深入。泥炭是古气候环境记录的良好载体,含有大量的古气候环境演变信息,通过多种气候环境代用指标对雷公坪泥炭剖面进行细致研究,可以较为准确且详细的恢复该区域古气候环境变化特征,这也是下一步相关研究工作的重点。

**致谢:**感谢雷山县方祥乡村民李建洲为本研究做野外向导和开挖剖面工作。

### [参考文献]

- 陈槐,吴宁,王艳芬,等. 2021. 泥炭沼泽湿地研究的若干基本问题与研究简史[J]. 中国科学:地球科学,51(1):15-26.
- 雷国良,朱芸,姜修洋,等. 2014. 福建仙山泥炭距今1400a以来的 $\alpha$ -纤维素 $\delta^{13}\text{C}$ 记录及其气候意义[J]. 地理科学,34(8):1018-1024.
- 李远平,马春梅,朱诚,等. 2017. 大九湖泥炭地距今16000a以来Hg沉积记录及影响因子[J]. 中国环境科学,37(3):1103-1110.
- 林树基,周启永. 1984. 贵州省泥炭资源远景初探[J]. 贵州地质,1(1):97-104.
- 刘利娟,刘欣蔚,鞠佩君,等. 2018. 15000年以来若尔盖高原泥炭地发育及其碳动态[J]. 生态学报,38(18):6493-6501.
- 马义波,李龙波,张美雪,等. 2020. 贵州成土母岩类型及其与耕地土壤关系探讨[J]. 贵州地质,37(4):425-429.
- 欧阳克俭. 1997. 风景这边独好——雷公山揽胜[J]. 国土绿化,(1):36-37.
- 乔玉楼. 1994. 贵州浅表泥炭地层 $^{14}\text{C}$ 年代测定[J]. 贵州地质,11(1):38-43.
- 全明英. 2019. 基于梵净山孢粉记录的古生态演变研究[D]. 贵阳:贵州师范大学:1-44.
- 陶发祥,洪业汤,姜洪波. 1996. 贵州草海地区最近8ka的气候变化[J]. 科学通报,41(16):1489-1492.

- 王华,洪业汤,朱咏焯,等. 2003. 红原泥炭腐殖化度记录的全新世气候变化[J]. 地质地球化学,31(2):51-56.
- 王文杰,杨光忠. 2017. 雷山大塘九十九水库罕见水文地理位置及其旅游资源价值[J]. 贵州地质,34(3):218-222.
- 文雪峰,魏晓,杨瑞东,等. 2012. 贵州龙里高山草原泥炭沉积年代、速率及其有机碳同位素记录[J]. 现代地质,26(4):712-715.
- 张辉,李志忠,姜修洋,等. 2012. 福建北部天湖山全新世泥炭古气候记录的初步研究[J]. 宁夏大学学报(自然科学版),33(1):120-124.
- 张愈,马春梅,赵宁,等. 2015. 浙江天目山千亩田泥炭晚全新世以来 Rb/Sr 记录的干湿变化[J]. 地层学杂志,39(1):97-107.
- 周琦,张世俊,杨兵,等. 2018. 贵州省旅游资源大普查实施背景、技术要求与主要成果及意义[J]. 贵州地质,35(2):145-152.
- Bard E. 1988. Correction of Accelerator Mass Spectrometry  $^{14}\text{C}$  Ages Measured in Planktonic Foraminifera: Paleooceanographic Implications[J]. *Paleoceanography*,3(6):635-645.
- Hong YT, Hong B, Lin QH, et al. 2005. Inverse Phase Oscillations Between the East Asian and Indian Ocean Summer Monsoons During the Last 12000 Years and Paleo-el Nio[J]. *Earth & Planetary Science Letters*,231(3):337-346.
- Libby WF, Anderson EC, Arnold JR. 1949. Age Determination By Radiocarbon Content: World-wide Assay of Natural Radiocarbon [J]. *Science*,109(2827):227-228.
- Reimer PJ, Baillie M, Bard E, et al. 2013. Intcal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0 - 50,000 Years Cal Bp [J]. *Radiocarbon*,55(4):1869-1887.

## Study on Chronology and Sedimentary Rate of Peat in the Leigongping Mountain Marsh of Guizhou

ZHANG Hui<sup>1,2,3</sup>, LI Song<sup>1,3</sup>, SI Yun-yun<sup>1</sup>, LIU Rui<sup>1,3</sup>, LUO Xuan<sup>1,3</sup>, HE Yan-hua<sup>1</sup>

(1. Guizhou Education University, Guiyang 550018, Guizhou, China; 2. Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China; 3. Guizhou Provincial Key Laboratory of Geography State Monitoring of Watershed, Guiyang 550018, Guizhou, China)

[Abstract] By isotope test radio carbon isotope and stable carbon on samples from the Leigongping peatland in Guizhou, it is figured out that ages of the samples in 150cm、70cm and 10cm of the peat are  $13360\pm 40\text{a B.P.}$ 、 $4570\pm 30\text{a B.P.}$  and  $420\pm 30\text{a B.P.}$ . Respectively the rates of peat layer accumulation are  $0.027\text{cm/a}$ 、 $0.008\text{cm/a}$  and  $0.023\text{cm/a}$ . The  $\delta^{13}\text{C}$  of the peat from bottom to top are  $-27.5\text{‰}$ 、 $-28.8\text{‰}$  and  $-28.5\text{‰}$ . Compared with the peat climatic data of other areas, it inferred that the peat in this area grew in relatively warm moist climatic environment.

[Key Words] Leigongping; Peat; AMS<sup>14</sup>C; Accumulation rate; Guizhou