Geographical Science Research 地理科学研究, 2025, 14(2), 239-245
Published Online April 2025 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/gser
https://doi.org/10.12677/gser.2025.142025

Hans汉斯

全新世以来滇西南地区森林火灾变化规律研究

杨丽云[1,2]

[1]云南师范大学地理学部，云南 昆明
[2]云南省高原地理过程与环境变化重点实验室，云南 昆明

收稿日期：2025年2月10日；录用日期：2025年3月26日；发布日期：2025年4月7日

摘 要

本文通过系统整理与分析全新世以来滇西南地区的森林火灾数据，揭示了该区域森林火灾的发生规律及其与气候变化和人类活动之间的关系。研究结果表明：(1) 森林火灾活动的频率和强度呈现明显的环境依赖性，频繁且强烈的火灾事件主要发生在寒冷－中等干燥气候条件下或伴随显著人类活动的时期，而低频火灾活动则与暖湿气候条件或暖湿化趋势增强时期相对应。(2) 在时间尺度上，森林火灾的主导控制因素发生了显著转变：4300 cal.a BP之前，火灾活动主要受气候因素控制；4300 cal.a BP之后，则转变为气候与人类活动的共同影响。随着人类活动强度的持续增强，炭屑浓度显著升高，表明人类活动对森林火灾的影响已明显超越气候变化的作用。(3) 现代炭屑浓度的空间分布格局与2001~2013年卫星观测的火灾活动数据高度吻合，这不仅证实了炭屑数据对区域森林火灾历史的可靠记录能力，同时也表明炭屑浓度高值区与人类活动密集区存在显著的空间对应关系。

关键词

全新世，滇西南地区，炭屑，森林火灾，变化规律

A Study on the Pattern of Forest Fire Variations in Southwest Yunnan since the Holocene

Liyun Yang[1,2]

[1]Faculty of Geography, Yunnan Normal University, Kunming Yunnan
[2]Yunnan Key Laboratory of Plateau Geographical Processes & Environmental Changes, Kunming Yunnan

Received: Feb. 10th, 2025; accepted: Mar. 26th, 2025; published: Apr. 7th, 2025

Abstract

This paper systematically organizes and analyzes forest fire data from southwest Yunnan since the

文章引用: 杨丽云. 全新世以来滇西南地区森林火灾变化规律研究[J]. 地理科学研究, 2025, 14(2): 239-245.
DOI: 10.12677/gser.2025.142025

Holocene, revealing the occurrence patterns of forest fires in this region and their relationships with climate change and human activities. The results indicate that: (1) The frequency and intensity of forest fire events exhibit a clear environmental dependency, with frequent and intense fires primarily occurring under cold-to-moderately dry climatic conditions or during periods of heightened human activity, while low-frequency fire events are associated with warm-humid climatic conditions or phases of increasing warm-humidification. (2) On a temporal scale, the dominant drivers of forest fire activity have undergone significant shifts: prior to 4300 cal.a BP, fire occurrence was primarily influenced by climatic factors; however, after 4300 cal.a BP, both climate and human activities jointly influenced fire regimes. As human activity intensified, there was a marked increase in the concentration of charcoal debris, suggesting that anthropogenic factors have increasingly overshadowed the role of climate change in driving forest fires. (3) The spatial distribution pattern of modern charcoal debris concentrations shows a strong correlation with satellite-derived fire activity data from 2001 to 2013. This not only supports the reliability of charcoal debris as a record of regional fire history but also demonstrates a significant spatial congruence between areas of high charcoal concentration and regions of intensive human activity.

Keywords

Holocene, Southwest Yunnan, Charcoal Debris, Forest Fires, Patterns of Variation

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

火灾活动参与了地球系统中的生物地球化学循环、大气化学、土地利用和人类的繁衍生息，是生态系统中的主要组成部分[1] [2]。火灾对森林资源的范围和多样性、碳循环和全球气候变化有着强烈的影响[3]。重大森林火灾作为一种破坏性极强的自然灾害，不仅对森林生态系统造成严重损害，还对环境质量和人类生计产生深远影响。值得关注的是，森林火灾的发生并非随机事件，而是呈现出特定的时空变化规律。然而，受研究技术及时空尺度限制，我国现有的森林火灾研究主要集中于短时间尺度的火灾发生模式，对长时间序列下火灾演变规律的研究仍相对薄弱[4]。全新世作为第四纪末次冰期之后的间冰期(又称冰后期)，距今约 11,500 年[5]。这一时期不仅见证了全球气候从寒冷向温暖湿润的显著转变，同时也伴随着人类活动对森林火灾演化进程的深刻影响[6]。因此，深入探究全新世时期的火灾历史，对于揭示气候变迁、环境演化与人类活动之间的复杂相互作用具有重要的科学意义。在研究方法上，湖泊沉积物中的炭屑作为重建森林火灾历史的重要代用指标，已被广泛应用于相关研究[7]。滇西南地区的炭屑组合特征不仅能有效揭示森林火灾的发生频率与强度，还能为人类活动历史提供重要线索，从而为重建历史时期的火灾事件提供科学支撑。因此，本研究对全新世以来滇西南地区的森林火灾数据进行了系统整理与分析，旨在深入探讨该区域森林火灾的发生机制及其演变规律。

2. 研究区概况

滇西南地区位于中国云南省西南部(97˚31'~102˚19'E, 22˚32'~24˚16'N)，涵盖包括保山市、德宏傣族景颇族自治州、临沧市、普洱市、西双版纳傣族自治州共 5 个州(市)，总面积约 11.9 万 km^2，占云南省国土总面积的约 1/3。该区地处青藏高原东南缘，位于中国西南边陲，属低纬高原季风气候区，主要受印度洋暖湿气流和西南季风的共同影响，气候特征显著。年温差小，四季更替不明显，而日温差较大，干湿季

分明，季风效应显著，并呈现出典型的立体气候特征[8]。该区域地势总体呈现西北高、东南低的分布特征，最大海拔落差达 3560 m，且受大、小河流纵横切割影响，地形复杂多变，生境类型极为多样。独特的气候条件与复杂的地理环境共同造就了丰富的植被类型，各类植被特征各异，并在空间分布上呈现显著的交错带与镶嵌式分布特征，从而形成了高度多样化的生态系统格局(如图 1)。

滇西南地区植被类型多样，共涉及到三个植被区。其中滇南、滇西南间山盆地季节雨林和半常绿季雨林区是以常绿栎、柯属/栲属、石栎属、桑科、禾本科等为主；滇西南中山山原河谷季风常绿阔叶林区以松属、桤木属、常绿栎、栲属、青冈属等为主；滇西横断山半湿润常绿阔叶林区以松属、桤木属、蒿属花粉为主[9]。植被种类错综复杂，森林资源丰富多彩。

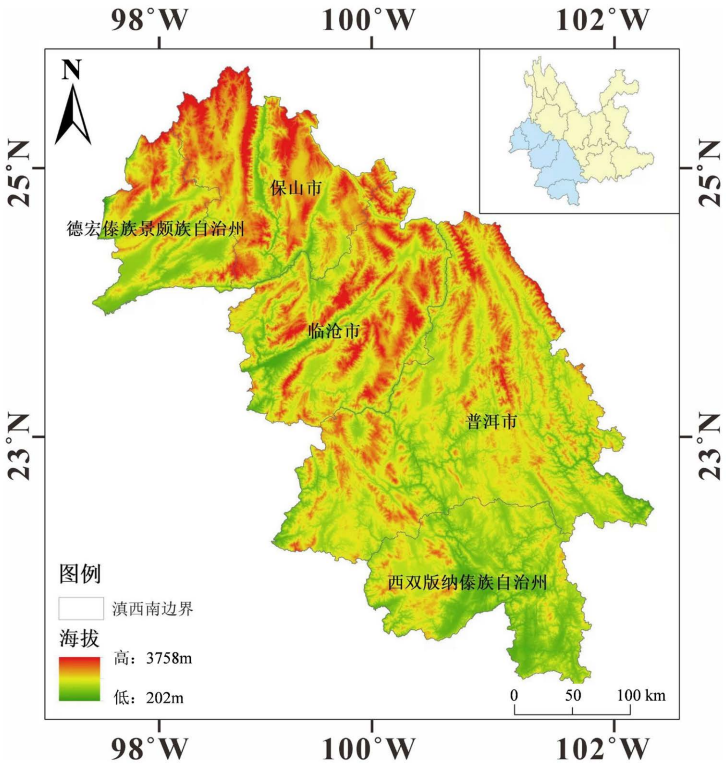

Figure 1. Overview of the research area in southwest Yunnan
图 1. 滇西南研究区概况

3. 研究方法

炭屑是自然火灾或人类用火过程中植被燃烧后产生的黑色无机碳化合物，广泛存在于沉积物中，是研究森林火灾的重要指标和重建火灾历史的关键证据。炭屑的粒径分布与火灾类型密切相关：通常认为，粒径小于 50 um 的炭屑指示区域性森林火灾，而大于 50 um 的炭屑则指示地方性森林火灾[10]。其中，小于 50 um 和 50~100 um 的中小粒径炭屑因质量较轻，能够被风力输送至较远区域，其沉积位置通常远离火源区；相比之下，大于 100 um 的大粒径炭屑因质量较大，沉降速率较快，通常聚集于靠近火源的沉积环境[11]。沉积物中炭屑的含量与植被燃烧的强度、分布密度及发生频率密切相关，而植被的组成与分布格局则受到生境条件的制约。因此，炭屑分析已成为重建古环境和探讨人类活动影响的重要手段[12] [13]。

本研究基于滇西南地区已发表的炭屑分析数据和森林火灾记录，探讨了森林火灾的变化规律及其与气候变化和人类活动的关系，为该区域森林火灾历史的复原和火灾演变规律的揭示提供科学依据。

4. 森林火灾变化规律研究

4.1. 全新世以来滇西南森林火灾情况

云南腾冲青海湖的黑炭记录表明，森林火灾的高发期与西南季风的强弱变化密切相关，主要集中在季风减弱阶段，包括 18,500~15,000 cal.a BP、12,800~11,100 cal.a BP 和中晚全新世[14]。Xiao 等[15]基于对该湖泊钻孔炭屑和花粉记录的研究发现，森林火灾的发生频率不仅受到西南季风强度的调控，同时也与植被类型的变化密切相关。此外，森林火灾的高发时段主要集中在 18,500~15,000 cal.a BP、13,000~11,500 cal.a BP 及 4300~1000 cal.a BP，这一趋势反映了气候变化对区域火灾动态的深远影响。进一步研究表明，腾冲青海湖地区全新世以来的环境演变可划分为五个显著阶段(见表 1)，这些阶段清晰地记录了植被演替、气候变化以及森林火灾历史的协同演变过程[16]，分别是：(1) 11,500~10,400 cal.a BP 期间，常绿栎类花粉百分含量降低明显，栲/石栎属含量增加明显，热带亚热带木本花粉含量有所增加，大、小炭屑浓度明显降低，指示此时期气候转暖转湿。(2) 10,400~8500 cal.a BP 期间，常绿栎类花粉含量低，栲/石栎属含量显著上升，热带亚热带木本花粉含量占比上升，同时炭屑浓度维持在极低水平。指示此期气候开始明显增温增湿，相当于早全新世增温期。(3) 8500~4300 cal.a BP 期间，常绿栎类花粉有相对较高含量，栲/石栎属含量为剖面最高，热带、亚热带花粉含量为剖面最高，大、小炭屑浓度都非常低。推测此阶段气候条件呈现温暖湿润特征，对应于全新世气候最适宜期。(4) 4300~800 cal.a BP 期间，栲/石栎属的含量显著减少，常绿栎类花粉的含量亦呈下降趋势，而桤木属和禾本科花粉含量则大幅上升。与此同时，大、小炭屑浓度处于较高值。指示此时期气候向冷干方向转变，对应于晚全新世降温期；此外，植被组成的变化可能反映了人类活动的影响，特别是刀耕火种等农业活动的出现。(5) 自 800 cal.a BP 以来，常绿栎类及栲/石栎属含量呈现小幅回升，而桤木属含量显著下降。热带亚热带花粉比例明显减少，禾本科花粉含量则升至剖面最高值。此外，大、小炭屑浓度都非常低。反映此期人类活动增强，表现为强烈的选择性砍伐与农业种植，炭屑浓度低应是人类控制火灾的结果，气候信息较弱。

Table 1. Forest fires in southwest Yunnan since the Holocene
表 1. 全新世以来滇西南森林火灾情况

年代	炭屑浓度	气候情况	人类活动
11,500~10,400 cal.a BP	偏低	轻微变湿变暖	无
10,400~8500 cal.a BP	降低	增温增湿；早全新世增温期	无
8500~4300 cal.a BP	偏低	温暖湿润；全新世最适宜期	无
4300~800 cal.a BP	增高	变冷变干；晚全新世降温期	使用火
800 cal.a BP 以来	降低	气候信息较弱	强烈

炭屑含量与气候、人口数量及人类活动的强度都具有紧密联系。将青海湖火灾记录与滇西南季风区区域气候记录[14]比较，可知在 11,500~4300 cal.a BP 范围内，滇西南火灾频次和严重程度总体上处于较低水平，在 11,300、10,400、10,200、7600、5800、5700 cal.a BP 范围内，有 6 次严重程度较低的火灾，预示着 6 个显著的干旱或高季节性降水期[15]，即炭屑燃烧的峰值与干旱的气候条件有着密切关系。Gu 等[17]对西双版纳热带雨林区近 2000 年的植硅体与炭屑进行分析，发现火灾的发生主要受干旱事件的控制，几乎每一次火灾都伴随着气候事件，干旱与火灾相互作用，并对植被动态产生强烈影响。滇西南西盟龙潭黑炭记录也揭示了全新世以来气候与火灾活动的演变关系[18]，研究显示在全新世早期(约 7600 cal.a BP 之前)，凉爽潮湿的气候条件有效抑制了火灾的蔓延，导致区域火活动维持在较低水平；随着气候向暖干转变(约 7600 cal.a BP)，火灾频率显著增加；进入全新世中晚期，火灾频率呈现持续上升趋势，

但其变化主要受降水条件而非温度变化的控制。从千年尺度来看，全新世期间林火活动的演化过程主要受到季风降水和季节性温度变化的共同影响，这一序列清晰地展示了气候要素与火灾活动之间的动态响应关系。

结合云南省考古研究[19]和滇西南地区自 4300 cal.a BP 以来原始常绿阔叶林的快速退化现象，揭示了人类活动可能影响了滇西南 4300 cal.a BP 以来的植被变化。即在气候降温和干燥的条件下，叠加森林砍伐和农业耕作等人类活动，影响了 4300~800 cal.a BP 之间频繁和强烈的火灾活动。在 800 cal.a BP 至公元 1940 年期间，仅发生过一次弱火事件，火灾频率和严重程度较低。这可能与集约化农业和城市化环境下人类对火灾的抑制有关。自公元 1940 年以来，相对强烈和频繁的火灾活动与燃烧则对应第二次世界大战期间的掠夺事件以及随后以牺牲植被为代价的快速发展时期。相关研究表明，汉族在此期间大规模迁入云南省，导致该省人口数量显著增加，粮食短缺问题严重[20]。为应对粮食短缺，大量农民采用刀耕火种的方式耕作，从而造成林火频发，炭屑含量升高。因此，炭屑含量的变化不仅指示气候变迁的过程，还可用于重建区域人口规模的历史变动及人类活动强度的变化趋势[21]。

炭屑浓度是衡量森林火灾发生频率与强度的重要代理指标。研究表明，在自然状态下(即未受到人为干扰的情况下)，炭屑浓度的变化与气候波动呈现显著相关性：高炭屑浓度通常对应于气候温暖期，而低炭屑浓度则多见于气候寒冷期。这一现象可能与可燃物的积累量密切相关—在温暖期，植被生长旺盛，可燃物储量丰富，从而增加了森林火灾的发生概率；而在寒冷期，植被生长受限，可燃物的供应减少，导致森林火灾的发生率显著降低。肖霞云等[15]对青海湖的研究表明，以 4300 cal.a BP 为界，此前火灾活动主要受气候因素主导，而之后则受到气候变化与人类活动的共同影响，且人类活动对火灾的影响程度明显超过气候变化。因此，当前森林火灾的防控重点应放在规范人类活动上，通过严格管控和禁止破坏森林生态的行为有效降低火灾风险。

4.2. 现代滇西南森林火灾情况

不同粒径的炭屑百分比主要反映火灾事件的频率和范围。根据蒋梦姣[22]对滇西南地区表土炭屑的研究，不同区域的炭屑粒径分布呈现显著差异(见表 2)。研究显示，滇西南东北部以粒径 0~50 um 的炭屑为主，占比高达 80.3%，而 50~100 um 粒径的炭屑含量虽较低，但在区域内相对较高；滇西南西北部同样以 0~50 um 粒径的炭屑为主导，50~100 um 与>100 um 粒径的炭屑含量均较低；滇西南东南部 0~50 um 粒径的炭屑占比较高，同时 50~100 um 粒径的炭屑含量也较为显著，而>100 um 粒径的炭屑含量虽低，但在各区域中最高，达 3.76%；滇西南中东部地区 0~50 um 粒径的炭屑占比最为突出，高达 84.7%，而 50~100 um 与>100 um 粒径的炭屑含量较低。这些结果揭示了不同区域的火灾特征及其与炭屑粒径分布之间的复杂关系。

Table 2. Forest fires in modern southwest Yunnan
表 2. 现代滇西南森林火灾情况

研究区域	炭屑粒度			其他
	0~50 um	50~100 um	>100 um	
滇西南东北部	高	低	低	
滇西南西北部	高	低	低	
滇西南东南部	高	低	低	
滇西南中东部	高	低	低	炭屑浓度最高

炭屑含量及其空间分布在各植被区间表现出较高的一致性，在不同粒径的炭屑中，0~50 um 的含量

最高，50~100 um 的比例相对较小，而大于 100 um 的炭屑含量极少。将炭屑浓度的空间分布格局与2001~2013 年间的卫星遥感火灾数据进行对比，二者呈现出高度相似性，这表明炭屑沉积记录能够有效反映区域性森林火灾的历史特征。总体而言，研究区内炭屑浓度的空间差异较小，且浓度水平普遍较低，表明近几十年来该区域火灾发生频率较低，且火灾强度相对较弱。此外，大中粒径炭屑的分布特征与植被类型密切相关，其百分比含量与针叶树种及草本植被呈正相关关系，进一步揭示了森林火灾与植被类型之间的紧密联系。研究表明大中粒径炭屑浓度最高的地区主要位于滇西南临沧地区，该地区松林以及草本花粉含量较高，主要原因是人类活动过程中森林植被遭到破坏，该区原始森林较多，人口的增加，耕地需求增多，刀耕火种较为常见[23]。

4.3. 全新世以来滇西南森林火灾变化规律

森林火灾研究主要运用了炭屑这一指标，炭屑浓度反映了森林火灾事件的多寡，炭屑粒径反映了森林火灾发生的范围大小。研究表明：(1) 全新世以来，森林火灾的发生与气候变化高度关联，其发生频率和强度主要受干旱事件的影响。几乎每一次火灾都伴随着气候事件，干旱与火灾相互作用，并对植被动态产生强烈影响。频繁和强烈的火灾活动发生在寒冷和中等干燥的条件下或人类活动伴随的时期，低频的火灾活动发生在暖湿条件下或暖湿增加时期。(2) 炭屑含量与气候变化、人口数量及人类活动强度密切相关，其变化不仅能够指示气候波动，还能反映人口增长及人类活动强弱的变迁。通过对火灾历史与气候变化、人类活动及植被演替的关联性研究表明，在约 4300 cal.a BP 之前，火灾主要受气候因素控制，而自 4300 cal.a BP 以来，气候与人类活动共同影响着火灾，且随着人类活动持续增强，炭屑浓度显著高于早期温暖气候阶段，表明人类活动对森林火灾的影响已超过气候变化的作用。(3) 滇西南地区现代炭屑浓度的空间分布格局与 2001~2013 年卫星遥感火灾数据具有高度一致性，表明炭屑沉积记录能够有效反映区域森林火灾的发生情况。总体而言，该地区炭屑浓度的空间差异较小，且浓度普遍较低，指示近几十年来火灾发生频率较低，且火灾强度相对较弱。

5. 结论

全新世以来滇西南森林火灾的发生受到气候变化和人类活动的双重驱动。在 8500~4300 cal.a BP 期间，即全新世气候适宜期，森林火灾的发生主要受到气候变化的调控。研究表明，在气候温暖阶段，炭屑含量显著升高，即火灾发生频率较高，而在寒冷阶段，炭屑含量相对较低，对应火灾活动发生频率较少。在 4300 cal.a BP 以前，火灾活动主要受气候因素主导；而 4300 cal.a BP 以后，气候变化与人类活动共同影响着火灾，且随着人类活动的持续增强，炭屑含量显著上升。说明人类活动对森林火灾的影响大于气候变化的影响，成为驱动火灾发生的关键因素。

通过对滇西南地区现代不同粒径炭屑的数量、百分比和浓度的空间分布特征进行分析发现，其炭屑浓度空间格局与 2001~2013 年卫星遥感火灾数据高度一致，表明炭屑沉积记录能够有效反映区域森林火灾的发生情况。整体来看，该地区炭屑浓度的空间差异较小，且总体浓度水平较低，指示着近几十年来火灾发生频率较低且火灾强度较弱。同时，滇西南地区临沧市的炭屑浓度相对较高，人类活动显著，也表明人类活动对森林火灾的发生具有重要影响。至今，滇西南地区的气候变化研究主要集中于现代植被与环境的相互关系，而针对古植被与古气候重建的研究相对有限。因此，未来还需进一步深化对植被－气候－火灾相互作用的理解，并加强对滇西南古植被与古气候变化的系统研究。

参考文献

[1] Carcaillet, C., Almquist, H., Asnong, H., Bradshaw, R.H.W., Carrión, J.S., Gaillard, M., *et al*. (2002) Holocene Biomass Burning and Global Dynamics of the Carbon Cycle. *Chemosphere*, **49**, 845-863.

https://doi.org/10.1016/s0045-6535(02)00385-5

[2] Schüpbach, S., Kirchgeorg, T., Colombaroli, D., Beffa, G., Radaelli, M., Kehrwald, N.M., *et al*. (2015) Combining Charcoal Sediment and Molecular Markers to Infer a Holocene Fire History in the Maya Lowlands of Petén, Guatemala. *Quaternary Science Reviews*, **115**, 123-131. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.03.004

[3] Scott, A.C. (2000) The Pre-Quaternary History of Fire. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **164**, 281-329. https://doi.org/10.1016/s0031-0182(00)00192-9

[4] 刘玉英, 石大明, 胡轶鑫. 吉林省春秋季林火气象指数的建立及其变化特征[J]. 暴雨灾害, 2013, 32(1): 77-82.

[5] 王邵武. 全新世气候变化[M]. 北京: 气象出版社, 2011.

[6] 廖冰, 谭志海, 孙斌, 等. 甘肃合水地区全新世以来土壤剖面黑碳记录及其气候变化[J]. 地球环境学报, 2017, 8(1): 15-24.

[7] 吕静, 王宇飞, 李承森. 古炭屑与古森林火[J]. 古地理学报, 2002(2): 71-76.

[8] 赵平伟, 郭萍, 李立印, 等. SPEI 及 SPI 指数在滇西南地区干旱演变中的对比分析[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(1): 142-149.

[9] 张国富, 沈才明, 蒙红卫, 等. 滇西南湖泊表层沉积物花粉组合及其与植被和气候的关系[C]//中国古生物学会孢粉学分会. 中国古生物学会孢粉学分会十届二次学术年会论文摘要集. 2019: 1.

[10] 李平日. 孢粉反映的广州地区二千年来气候变化[J]. 热带地理, 1991(1): 16-24.

[11] 廖君. 末次冰盛期泸沽湖流域植被与气候变化[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 云南师范大学, 2017.

[12] 余晓珊. 阳宗海流域近 1300 年森林火灾史及其与气候变化和人类活动的关系[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 云南师范大学, 2016.

[13] 李杰. 越南红河流域表层沉积物花粉组合与植被、沉积环境关系探讨[D]: [硕士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2009.

[14] Zhang, E., Sun, W., Zhao, C., Wang, Y., Xue, B. and Shen, J. (2015) Linkages between Climate, Fire and Vegetation in Southwest China during the Last 18.5 ka Based on a Sedimentary Record of Black Carbon and Its Isotopic Composition. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **435**, 86-94. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2015.06.004

[15] Xiao, X., Haberle, S.G., Shen, J., Xue, B., Burrows, M. and Wang, S. (2017) Postglacial Fire History and Interactions with Vegetation and Climate in Southwestern Yunnan Province of China. *Climate of the Past*, **13**, 613-627. https://doi.org/10.5194/cp-13-613-2017

[16] 肖霞云, 沈吉, 薛滨等. 约 18.5 ka 以来滇西南的植被、火与气候历史研究[C]//中国古生物学会孢粉学分会, 中国科学院地球化学研究所. 中国古生物学会孢粉学会第九届二次学术年会论文摘要集., 2015: 1.

[17] Gu, Y.S., *et al*. (2007) Vegetation and Fire History of a Chinese Site in Southern Tropical Xishuangbanna Derived from Phytolith and Charcoal Records from Holocene Sediments. *Journal of Biogeography*, **35**, 325-341.

[18] Ning, D., *et al*. (2020) Combining and Competing Effects between Precipitation and Temperature on Holocene Fire Regime Evolution Inferred from a Sedimentary Black Carbon Record in Southwestern China. *Quaternary Research*, **93**, 243-254.

[19] 李坤生. 云南人类起源研究和史前考古的主要成果综述[J]. 云南社会科学. 2004, 16(2): 108-113.

[20] Mark, E. (2002) The Impact of Clearance and Irrigation on the Environment in the Lake Erhai Catchment from the Ninth to the Nineteenth Century. *East Asian History*, No. 23, 1-60.

[21] 许清海, 孔昭宸, 陈旭东, 等. 鄂尔多斯东部 4000 余年来的环境与人地关系的初步探讨[J]. 第四纪研究, 2002(2): 105-112.

[22] 蒋梦姣. 滇西南现代花粉-植被/气候关系[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 云南师范大学, 2019.

[23] 单孟祥. 临沧地区森林火灾分析与对策[J]. 森林防火, 2002(4): 20-22.