

李立学, 郝秀东, 欧阳绪红, 等. 桂西北喀斯特峰丛洼地区表土孢粉与现代植被关系研究——以环江县蒙峒洼地为例 [J]. 地理科学, 2023, 43(11): 2060-2068. [Li Lixue, Hao Xiudong, Ouyang Xuhong et al. Relationship between topsoil sporopollen and modern vegetation in Karst peak-cluster depression in northwest of Guangxi: A case in Mengtong depression, Huanjiang County. Scientia Geographica Sinica, 2023, 43(11): 2060-2068.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2023.11.019

桂西北喀斯特峰丛洼地区表土孢粉与现代植被关系研究 ——以环江县蒙峒洼地为例

李立学^{1,2}, 郝秀东^{1,2,3,4,5}, 欧阳绪红^{1,2}, 薛美玲^{1,2}, 劳月英^{1,2}, 秦琳娟^{1,2}, 韦嘉胜^{1,2}

- (1. 南宁师范大学北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 广西 南宁 530001; 2. 南宁师范大学广西地表过程与智能模拟重点实验室, 广西 南宁 530001; 3. 广西红树林研究中心广西红树林保护与利用重点实验室, 广西 北海 536000; 4. 自然资源部/广西岩溶动力学重点实验室, 中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西 桂林 541004; 5. 中国科学院南京地质古生物研究所现代古生物学和地层学国家重点实验室, 江苏 南京 210008)

摘要: 本文以广西环江典型喀斯特峰丛洼地为研究区, 选取 6 种不同土地利用类型的 37 份表土样品进行研究。研究发现: ① 共鉴定孢粉类型 68 科/属, 孢粉组合中针叶类占优势, 占比为 27.40%~59.12%, 其中以松属为主; 蕨类次之, 占比为 15.67%~55.29%, 以芒萁属、凤尾蕨属及水龙骨科为主; 然后为草本 (占比为 9.31%~41.17%), 以禾本科、苋科/藜科、菊科为主; 阔叶乔木类含量最低, 为 0.28%~16.01%, 以栗属、栎属、豆科和大戟科为主; 表土孢粉组合基本能反映洼地周围植被的总体特征。② 草本花粉在水稻田含量最高, 达 41.17%, 主要以水稻型禾本科 ($\geq 40 \mu\text{m}$) 为主; 次生林、撂荒地及玉米地的蕨类孢子含量较高, 分别达 55.29%、44.50% 和 40.50%。③ 主成分分析可以较好的区分水稻田、玉米地、次生林、桔林、撂荒地, 但桑林不能被区分出来, 可能与桑属为风媒花粉, 以及采样时间、花粉保存条件等有关。④ 非农用地孢粉质量浓度明显高于农用地, 可能与其植被类型、表层土壤扰动差异等有关。该研究结果可以为广西喀斯特石漠化地区的生态恢复、第四纪古环境与古植被重建研究提供参考依据。

关键词: 表土孢粉组合; 桂西北; 喀斯特; 峰丛洼地; 现代植被

中图分类号: P935.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2023)11-2060-09

中国西南喀斯特地区严重的石漠化现象, 深刻制约着区域可持续发展, 也直接威胁到了长江、珠江流域的生态安全^[1]。目前, 对石漠化的发生机制主要有两种观点: ① 石漠化发生的根本原因, 在于当地人口压力超过了其土地承载力^[2]; ② 石漠化是由气候变化诱发, 而人类活动的干扰加剧了石漠化的

扩张^[3]。由此可见, 人类活动始终是造成石漠化现象的重要原因。早在 4 000 a 前, 随着人类活动的加剧, 如人口增长、农业种植扩张、战争等, 就已经改变了喀斯特地区石漠化的自然过程^[4]; 中国西南地区近 1 600 a 以来的人类活动对环境演变产生了重要影响^[5]。但是, 人类活动对石漠化现象的具体影响程度

收稿日期: 2022-12-02; **修订日期:** 2023-02-12

基金项目: 广西壮族自治区自然科学基金项目(2023GXNSFBA026263)、国家自然科学基金项目(42001076, U20A2048, 41861020)、广西岩溶动力学重大科技创新基地开放基金项目(KDL & Guangxi202204)、广西红树林保护与利用重点实验室开放基金项目(GKLMC-201902)、中国科学院南京地质古生物研究所现代古生物学和地层学国家重点实验室项目(223109)、北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室开放基金项目(NNNU-KLOP-X1919, NNNU-KLOP-X2101)资助。[Foundation: Natural Science Foundation of Guangxi Zhuang Autonomous Region (2023GXNSFBA026263), National Natural Science Foundation of China (42001076, U20A2048, 41861020), Guangxi Karst Dynamics Major Science and Technology Innovation Base Open Fund Project (KDL & Guangxi202204), Guangxi Key Laboratory of Mangrove Conservation and Utilization (GKLMC-201902), State Key Laboratory of Modern Paleontology and Stratigraphy, Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences (223109), Key Laboratory of Environmental Evolution and Resource Utilization in Beibu Gulf, Ministry of Education (NNNU-KLOP-X1919, NNNU-KLOP-X2101).]

作者简介: 李立学(1998—), 男, 四川盐边县人, 硕士研究生, 主要从事喀斯特孢粉学研究。E-mail: 1768581717@qq.com

通信作者: 郝秀东。E-mail: xiudonghao@126.com

如何,还需要更多的证据。孢粉是植物孢子和花粉的总称,因其外壁含有抗氧化和抗高温高压的孢粉素($C_{96}H_{22}O_{24}$),使其在漫长地质年代里一直可以被保存下来^[6],已成为恢复古环境、古植被最可靠的代用指标之一^[7-9],钻孔孢粉记录可以恢复和重建过去历史时期的植被演替、气候变化及其人类活动的响应。在喀斯特石漠化区开展钻孔孢粉研究,可为揭示过去植被动态演变及石漠化进程提供了新的研究途径。但是,由于不同种类孢粉的沉积环境多样、花粉产量差异较大以及其复杂的传播过程,使得在实际研究中孢粉组合与植被之间并不是简单的线性关系。因此,对一定区域内表土孢粉与现代植被关系的研究是利用化石孢粉资料重建古植被及古气候的关键,对于科学解释化石孢粉组合及定量恢复古环境具有重要意义^[10-12]。

喀斯特峰丛-洼地系统是石漠化最严重的区域和重要的侵蚀-堆积场所,坡面泥沙经降水会在洼地底部沉降堆积^[13-14],该过程同时也带动表土孢粉的迁移。因此,对喀斯特峰丛洼地表土孢粉的分析不仅能反映其与植被的关系,还可以在一定程度反映研究区的侵蚀-堆积状况。本研究通过对广西河池市环江毛南族自治县(文中简称环江县)蒙峒洼地 6 种不同土地利用类型的 37 份表土样品孢粉分

析,探讨喀斯特地区峰丛洼地地区不同土地利用类型表土孢粉与植被的对应关系,并运用部分典型孢粉类型指示喀斯特地区人类的农业活动,为该研究区及相似喀斯特地区的生态修复,第四纪古环境、古气候重建,以及人类干扰活动历史研究提供重要参考。

1 研究区概况

环江县($107^{\circ}51'E\sim 108^{\circ}43'E$, $24^{\circ}44'N\sim 25^{\circ}33'N$)位于广西西北部(图 1),云贵高原东南缘与桂中岩溶平原过渡的斜坡地带,九万大山东麓,总体地势北高南低,四周为山岭所环绕,中部偏南区为丘陵,略呈盆地状^[15]。其西部与西北部多为石山,东北部多为土山,土壤主要以红壤、黄壤和石灰土(岩)为主,全县境内最高海拔 1693 m,最低为 149 m,县域内河流主要有自北往南流的大环江和小环江,全县 72.2% 的面积为喀斯特地貌,是全国石漠化综合治理县^[16]。环江县属亚热带季风气候区,全年气候温和,年平均气温 $19.6^{\circ}C\sim 21.6^{\circ}C$,最低温出现在 1 月,约为 $3.4^{\circ}C\sim 8.7^{\circ}C$,最高温出现在 7 月,约为 $23.0^{\circ}C\sim 26.7^{\circ}C$,无霜期 290 d,年平均日照时数 145.1 h,年有效积温达 $6260^{\circ}C$;年降水量为 1530~1820 mm,分干湿两季,4—9 月属于湿季,降雨量

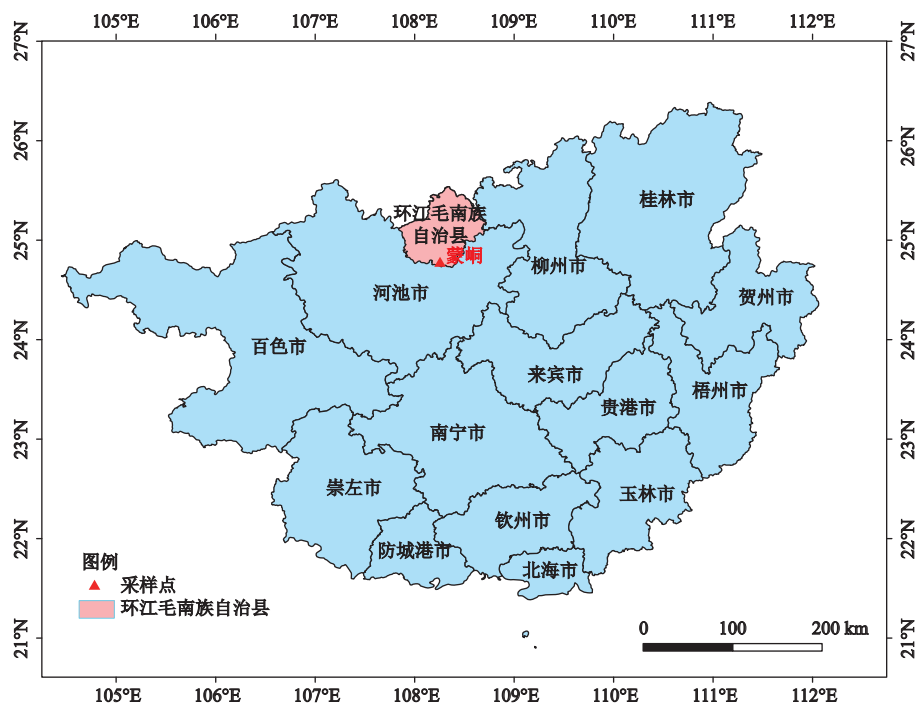


图 1 广西环江毛南族自治县及采样点位置

Fig.1 Location of sampling site in Mengtong depression, Huanjiang County, Guangxi

占全年 70%, 年均蒸发量为 1571.1 mm, 相对湿度平均为 70%; 县域内植被资源丰富, 环江属中亚热带常绿阔叶林区, 森林群落以常绿阔叶林为主, 兼少量落叶阔叶和常绿针、阔叶混交林^[17]。

蒙峒洼地位于环江县南部典型峰丛洼地区内, 周边植被保存较完好的喀斯特地区, 其植物群落以青冈栎(*Quercus glauca*)、野独活(*Miliusa balansae*)、厚壳桂(*Cryptocarya chinensis*)为优势种, 蕨类主要有肾蕨(*Nephrolepis auriculata*)、卷柏(*Selaginella tamariscina*)、渐尖毛蕨(*Cyclosorus parasiticus*)、华南毛蕨(*Cyclosorus parasiticus*)、海金沙(*Lygodium japonicum*); 受人类活动影响的区域分布着植物群落的不同阶段, 其中, 草丛优势种为五节芒(*Miscanthus floridulus*)、类芦(*Neyraudia reynaudiana*)、白茅(*Imperata cylindrica*)、鬼针草(*Bidens pilosa*); 灌木优势种为红背山麻秆(*Alchornea trewioides*)、灰毛浆果楝(*Cipadessa baccifera*)、盐麸木(*Rhus chinensis*)、黄荆(*Vitex negundo*); 乔木优势种为香椿(*Toona sinensis*)、皂荚树(*Gleditsia sinensis*)、菜豆树(*Radermachera sinica*); 蕨类主要有凤尾蕨(*Pteris cretica*)、肾蕨、巢蕨(*Neottopteris nidus*)等^[18-19]。

2 材料与方法

2.1 样品采集

蒙峒洼地的表土样品采集于 2021 年 9 月, 在采样的同时开展植被群落的调查, 记录样方内植物的盖度、丰富度、种类等信息。选用“梅花点”法采集表土样品。在蒙峒的水稻田、玉米地、桑林、桔林、撂荒地、次生林 6 种不同土地利用类型, 共采集表土和苔藓样品 37 份, 样品详细信息见表 1。

2.2 实验室处理与数据分析

孢粉样品的前处理、显微镜鉴定在南宁师范大学北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室进行。孢粉的提取, 采用常规的酸碱处理法^[20-21]: 表土样品称取干样 30 克, 苔藓样品称取干样 3 克, 每份样品中加入一枚石松孢子片(10315 粒/片)以计算孢粉质量浓度。使用 Leica DM4 B 显微镜在 200 倍、400 倍下进行样品统计(孢粉数 ≥ 300 粒)。孢粉形态鉴定主要依据《中国植物花粉形态(第二版)》^[22]、《中国第四纪孢粉图鉴》^[23]等工具书, 同时计算孢粉的百分比含量和质量浓度。孢粉图谱使用 Tilia(1.7.16)绘制, PCA 分析运用 Canoco5 完成。

3 研究结果

3.1 表土孢粉总体特征

37 份表土和苔藓样品中共鉴定出 68 科/属孢粉类型(图 2), 其中乔、灌木 30 科/属, 主要有松属(*Pinus*), 栗属(*Castanea*), 常绿栎属(*evergreen Quercus*), 豆科(*Fabaceae*), 云实属(*Caesalpinia*), 棕榈科(*Arecaceae*), 大戟科(*Euphorbiaceae*), 山麻杆属(*Alchornea*), 锦葵科(*Malvaceae*)等, 其中以松属花粉含量最高(平均为 41.17%, 最高达 73.73%); 草本植物 22 科/属, 以禾本科(*Poaceae*), 苋科/藜科(*Amaranthaceae/Chenopodiaceae*), 十字花科(*Brassicaceae*), 蓼科(*Polygonaceae*)等为主; 蕨类孢子主要以芒萁属(*Dicranopteris*)、凤尾蕨属(*Pteris*)和水龙骨科(*Polypodiaceae*)为主; 此外, 样品中还出现环纹藻属(*Concentricystes*)1 种淡水藻。

3.2 不同土地利用类型表土孢粉组合

3.2.1 水稻田

孢粉组合中乔、灌木花粉含量为 30.17%, 其中以松属最高(达 26.78%), 其次为栗属 1.44%, 其他科/属均未超过 1.00%; 草本植物含量为 41.48%, 以禾本科和苋科/藜科占优势(分别为 30.32% 和 12.34%), 玉米属含量为 7.25%, 其他草本植物花粉含量也均低于 1.00%; 蕨类孢子含量占 28.34%, 以水龙骨科含量最高(12.40%)。

3.2.2 玉米地

孢粉组合中乔、灌木花粉含量较高, 达 46.61%, 其中松属(42.94%)占绝对优势, 柏科/杉科为 1.57%; 草本植物含量为 12.87%, 以禾本科(4.42%)、菊科(4.29%)及玉米属(2.40%)为主; 蕨类孢子含量为 40.52%, 以芒萁属, 水龙骨科为主。

3.2.3 桑林

孢粉组合中乔、灌木花粉含量达 61.79%, 松属(58.51%)明显占优, 其次为栗属(1.27%); 草本花粉含量为 12.81%, 禾本科含量最高(5.43%), 菊科、苋科和蒲公英属含量也较高(分别为 2.18%、1.82% 和 1.17%); 蕨类孢子含量为 25.40%, 其中以芒萁属最高, 达 10.93%。

3.2.4 桔林

孢粉组合中乔、灌木花粉含量达 67.88%, 其中松属占比最高(50.56%), 其次为云实属(3.21%), 大戟科(2.08%)和山麻杆属(1.58%); 草本花粉含量为 16.64%, 主要以禾本科(5.21%)和菊科(4.78%)

表 1 蒙峒喀斯特峰丛洼地洼地表土样品采样点信息

Table 1 Sampling point information of topsoil samples of Mengtong Karst peak-cluster depression					
土地利用类型	样品编号	经度	纬度	海拔/m	样品类型
水稻田	MT-1	108°15'51"E	24°46'08"N	298	表土
	MT-2	108°15'51"E	24°46'07"N	298	表土
	MT-3	108°15'52"E	24°46'08"N	298	表土
	MT-4	108°15'51"E	24°46'08"N	298	表土
	MT-5	108°15'52"E	24°46'07"N	298	苔藓
	MT-6	108°15'52"E	24°46'08"N	298	苔藓
玉米地	MT-7	108°15'45"E	24°46'07"N	321	表土
	MT-8	108°15'45"E	24°46'07"N	321	表土
	MT-9	108°15'45"E	24°46'07"N	321	表土
	MT-10	108°15'45"E	24°46'07"N	321	表土
	MT-11	108°15'45"E	24°46'07"N	321	表土
	MT-12	108°15'45"E	24°46'07"N	321	苔藓
桑林	MT-13	108°15'53"E	24°46'07"N	319	表土
	MT-14	108°15'53"E	24°46'07"N	319	表土
	MT-15	108°15'53"E	24°46'07"N	319	表土
	MT-16	108°15'53"E	24°46'07"N	319	表土
	MT-17	108°15'52"E	24°46'06"N	319	苔藓
	MT-18	108°15'52"E	24°46'06"N	319	苔藓
	MT-19	108°15'52"E	24°46'06"N	319	苔藓
	MT-20	108°15'52"E	24°46'06"N	319	苔藓
桔林	MT-21	108°15'33"E	24°46'07"N	352	苔藓
	MT-22	108°15'33"E	24°46'07"N	352	苔藓
	MT-23	108°15'32"E	24°46'08"N	352	苔藓
	MT-24	108°15'32"E	24°46'08"N	352	苔藓
	MT-25	108°15'33"E	24°46'07"N	352	苔藓
	MT-26	108°15'33"E	24°46'07"N	352	苔藓
撂荒地	MT-27	108°15'36"E	24°46'07"N	336	苔藓
	MT-28	108°15'36"E	24°46'07"N	336	表土
	MT-29	108°15'36"E	24°46'08"N	336	表土
	MT-30	108°15'36"E	24°46'07"N	336	表土
次生林	MT-31	108°15'47"E	24°46'05"N	348	苔藓
	MT-32	108°15'46"E	24°46'05"N	348	苔藓
	MT-33	108°15'46"E	24°46'05"N	348	苔藓
	MT-34	108°15'46"E	24°46'05"N	348	苔藓
	MT-35	108°15'46"E	24°46'06"N	348	苔藓
	MT-36	108°15'40"E	24°46'06"N	348	苔藓
	MT-37	108°15'40"E	24°46'06"N	348	苔藓

为主; 蕨类孢子含量占 15.48%, 以水龙骨科为主。

3.2.5 撂荒地

孢粉组合中乔、灌木花粉含量为 44.52%, 其中松属占比最高(35.39%), 柏科/杉科次之, 为 6.32%; 草本植物花粉含量为 10.77%, 主要以禾本科(2.49%), 玉米属(2.95%) 为主; 蕨类孢子含量达 44.72%, 其中以水龙骨科和芒萁属为主。

3.2.6 次生林

孢粉组合中乔、灌木花粉含量为 40.87%, 其中以松属含量(32.81%) 最高, 其次为栗属(2.14%)、山麻秆属(1.72%) 和豆科(1.37%); 草本植物花粉含量为 10.97%, 主要以禾本科(3.28%), 菊科(2.86%), 十字花科(2.33%) 为主; 蕨类孢子含量较高, 达 48.16%, 其中以水龙骨科为主。

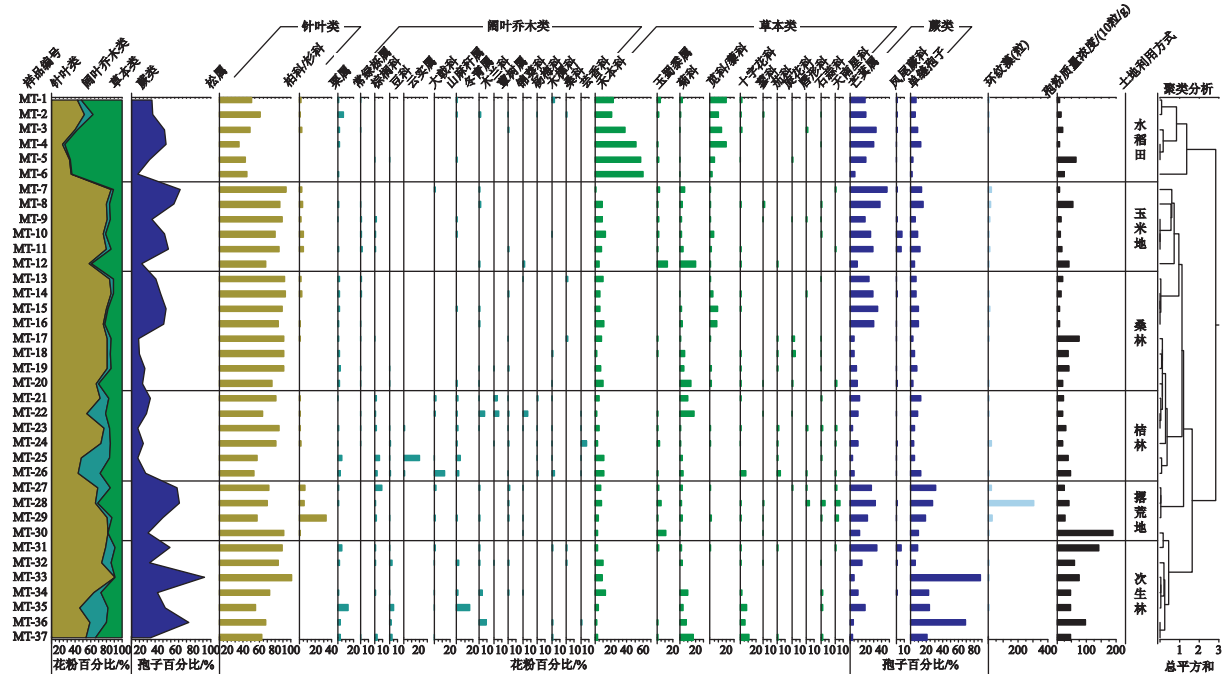


图2 蒙峒喀斯特峰丛洼地土壤样品的孢粉百分比含量

Fig.2 Percentage of sporopollen from topsoil samples from Mengtong Karst peak-cluster depression

3.3 孢粉质量浓度

蒙峒洼地内不同土地利用类型的表土孢粉质量浓度差异巨大,孢粉质量浓度最低出现在水稻田的表土样品中,为 8340 粒/g,最高出现在次生林的苔藓样品中,达 14214163 粒/g;孢粉平均质量浓度较高,为 420620 粒/g,表土样品与苔藓样品的平均质量浓度差异明显,分别为 32682 粒/g 和 584748 粒/g(图2)。

3.4 主成分分析

为进一步探讨喀斯特峰丛洼地区的表土孢粉传播规律,对其 13 种主要孢粉类型进行主成分(PCA)分析(图3),结果显示,四轴的特征值分别为 0.331、0.156、0.115、0.088,累计解释量达到 69%,其中,前两轴解释量为 48.7%。据此分析,表土孢粉组合离散性较好,孢粉组合具有分异性,能够实现区分。芒萁属、玉米属分布第一象限,冬青属与水龙骨科分布第二象限,松属、菊科、石蒜科、十字花科、山麻秆属和栗属分布第三象限,禾本科、藜科和苋科分布第四象限。不同土地利用类型中,水稻田与禾本科、苋科、藜科对应关系明显,能很好实现区分;次生林、撂荒地、玉米地与桔林以与蕨类孢子的对应关系也能较好区分,而桑林分布较为离散。

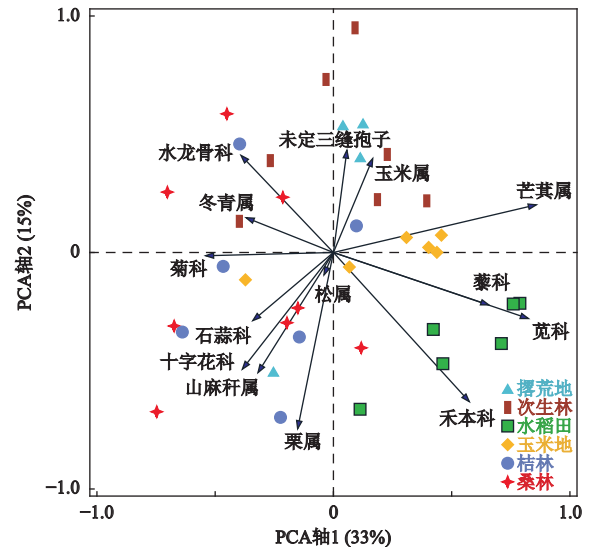


图3 蒙峒喀斯特峰丛洼地主要孢粉类型及样点的主成分(PCA)分析结果

Fig.3 The result of principal component analysis for major sporopollen types and samples from Mengtong Karst peak-cluster depression

4 讨论

4.1 孢粉组合与现代植被的关系

37 份表土样品中,针叶类花粉含量最高(平均 49.67%),草本次之(19.92%),阔叶乔木类含量最低

(5.83%)。研究区属于亚热带季风气候,地带性植被为亚热带常绿阔叶林,但占据优势的阔叶乔木类花粉含量却最低,说明该地区植被退化严重,呈现出明显的石漠化特点,这与重庆喀斯特表土孢粉组成相似^[24]。不同土地利用类型表土孢粉组成能较好反应周围的植被组成,水稻田表土孢粉组合的指示性成分是禾本科、苋科/藜科、玉米属和菊科,花粉类型的主要种属与水稻田上的栽培作物及其伴生植物相对应,尤其水稻型禾本科花粉($\geq 40\ \mu\text{m}$)含量明显较高,且只出现于水稻田,即使距离较近的桑林里也只有 5.43%,说明水稻型禾本科花粉传播距离很短,这与前人的研究一致^[21]。苋科、菊科是南方农作物田的主要杂草类型^[25],这可能是水稻田相关花粉含量较高的原因。玉米地表土孢粉组合的指示性成分是菊科、禾本科和玉米属,但玉米属花粉含量最高值并未出现在玉米地,而出现在撂荒地,这可能是由于玉米地采样期当季种植的玉米还未开花,而撂荒地在前种植的植物为玉米有关。但总体上,玉米属花粉含量都很低,这也说明个体较大的农作物禾本科花粉不易保存^[26]。桑林表土孢粉组合的指示性成分与水稻田大致相似,但禾本科花粉含量相对较低。桑科的花粉含量均很低,可能与桑科花期在春季有关。空气花粉研究中也显示桑科花粉主要出现于春季,而在其他季节少^[27];桑属植物为风媒花粉,花粉可能较少散落于母体植物周围;此外,桑科植物花粉外壁薄,层次不清楚^[22],导致其不易保存在表土中。桑林的松属花粉含量最高,花粉组成中较高的还有同为风媒花粉的栗属,表明桑林的表土花粉组成更能反应周边较大范围的植被组成。桔林表土孢粉的指示性成分为豆科、云实属、大戟科、山麻秆属、芸香科、木兰科及栗属等乔、灌木花粉,桔林采样点紧挨着次生林,表土主要花粉类型大致符合喀斯特地区的植被组成。次生林中松属花粉含量达 66.71%,蕨类孢子含量以 48.16% 占绝对优势,说明在非农用地等人为活动干扰相对较少的喀斯特地区,松属花粉和蕨类孢子具超代表性。

4.2 主要花粉类型的代表性

松属花粉出现在所有样品中且含量高(平均达 41.17%),但在研究区附近并未见有松属植物分布,这与前人研究结果相似^[28]。据研究,滇黔桂-南岭地区是中国裸子植物的分布中心^[29],该区域有着众多中国特有的松属,如云南松、细叶云南松、思茅松、毛枝五针松等树种^[30],加之松属花粉产量大,传播

范围广,易于保存,使其花粉含量高,具有超代表性,研究区的松属花粉可能源自于此。乔、灌木中,出现频率较高的还有栗属,出现在 26 个样品中。据资料显示,环江县以板栗为退耕还林主要树种之一^[31],与环江县相邻的东兰县、南丹县、巴马县也将板栗作为主要经济作物之一^[32]。栗属同为风媒花粉,洼地内的花粉沉积可能来自周边地区。草本植物中,禾本科花粉出现在所有样品中,菊科花粉也出现在 31 个样品中,这与禾本科、菊科为研究区草本植物的主要建群种相符。

4.3 蕨类孢子

蕨类孢子含量在所有样品中含量都较高(平均为 33.77%),其中,次生林中含量最高(48.16%),玉米地和撂荒地含量次之(分别为 44.72% 和 40.52%)。蕨类植物是维管植物中较原始的类群,广泛分布于热带亚热带地区,一般生长在林下阴湿的环境^[33],喀斯特地区蕨类植物种类丰富,可达 24 科 50 属^[34],这与实验结果相符合。玉米地与撂荒地蕨类孢子含量高,可能是由于两地采样点位于农用地和外围次生林的交界区有关,蕨类多生长在次生林下,这也说明,蕨类孢子产量大,但扩散性较差,多散布于母体植物近距离处。

4.4 孢粉质量浓度差异

根据不同样品类型的孢粉质量浓度比较,苔藓样品的孢粉质量浓度显著高于表土样品。苔藓独特的结构使其成为天然的孢粉收集器,其较表土更容易捕捉风媒花粉,而且,苔藓样品收集的是其生长年限内的植物孢粉^[35]。不同土地利用类型中,次生林的平均孢粉质量浓度显著高于其他土地利用类型(达 2083 791 粒/g),其次为撂荒地(70 152 粒/g),其余 4 种农用地的孢粉质量浓度较低且数值相当(平均 20 000 粒/g),其中桔林>桑林>玉米地>水稻田。农田孢粉质量浓度明显低于非农田,该结果与南京^[36]、东北^[37]地区开展的研究结果相一致,这可能与表层土的翻耕干扰、孢粉保存条件差异等有关。结果显示,孢粉质量浓度与植被覆盖呈正向相关,可以将孢粉质量浓度作为指示人类活动强度的指标。

5 结论

桂西北蒙峒喀斯特峰丛洼地区不同土地利用类型的 37 份表土孢粉研究,结果表明:①表土孢粉组合与各土地利用类型上植被对应关系良好,水稻

田、玉米地、次生林、撂荒地、桔林都能较好反映其上及周边近距离植物组成,但桑林并不能很好地反应其植物组成,可能与桑属为风媒花粉、采样时间及保存条件等有关;②该地区的主要孢粉类型为松属、栗属、豆科、禾本科、苋科/藜科、菊科、芒萁属等,松属花粉含量高具超代表性,但附近并无松属植物分布,其可能来自于较远的区域,栗属花粉可能源自该县及周边县,禾本科、苋科/藜科和芒萁属可能产自于近距离的母体植物;③PCA分析可以较好区分水稻田、玉米地、撂荒地、次生林及桔林,说明不同土地利用类型表土孢粉具有明显分异性;但桑林并不能实现较好区分;④不同样品类型、土地利用类型间孢粉质量浓度差异显著,苔藓样品孢粉质量浓度明显高于表土;不同土地利用类型中,次生林孢粉质量浓度显著较高、撂荒地次之,桔林、桑林、玉米地和水稻田平均质量浓度较低且接近,农用地与非农用地孢粉质量浓度差异明显,可能与植被组成、土层扰动及孢粉保存条件等有关。

致谢:感谢南宁师范大学大学生创新计划项目(202210603061, S202310603061, S202310603131)对本研究的支持。

参考文献(References):

- [1] Peng W X, Wang K L, Song T Q et al. Controlling and restoration models of complex degradation of vulnerable Karst ecosystem[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2): 811-820.
- [2] 余梦, 李阳兵, 罗光杰. 中国西南岩溶山地石漠化演变趋势[J]. *生态学报*, 2022, 42(10): 4267-4283. [Yu Meng, Li Yangbing, Luo Guangjie. Evolution trend of rocky desertification in Karst mountains of southwest China. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(10): 4267-4283.]
- [3] Chen C J, Yuan D X, Cheng H et al. Human activity and climate change triggered the expansion of rocky desertification in the Karst areas of Southwestern China[J]. *Science China Earth Sciences*, 2021, 64(10): 1761-1773.
- [4] Yassoglou N J. History of desertification in the European Mediterranean[C]//Enne G, D'Angelo M, Zanolla C. Indicators for assessing desertification in the Mediterranean. Proceedings of the International Seminar held in Porto Torres, Italy, 18-20 September, 1998. Nucleo Ricerca Desertificazione, University of Sassari, 2000: 9-15.
- [5] 汪啟容, 蒋勇军, 郝秀东, 等. 孢粉记录的重庆岩溶槽谷区700年来植被演替与喀斯特石漠化[J]. *生态学报*, 2021, 41(9): 3634-3644. [Wang Qirong, Jiang Yongjun, Hao Xiudong et al. 700 years of vegetation succession and Karst desertification in Karst trough valley area of Chongqing with pollen records. *Ecological Journal*, 2021, 41(9): 3634-3644.]
- [6] 王开发, 王宪曾. 孢粉学概论[M]. 北京: 北京大学出版社, 1983. [Wang Kaifa, Wang Xianzeng. An introduction to Palynology. Beijing: Peking University Press, 1983.]
- [7] Nakagawa T, Kitagawa H, Yasuda Y et al. Asynchronous climate changes in the North Atlantic and Japan during the last termination[J]. *Science*, 2003, 299(5607): 688-691.
- [8] Davis M B. Palynology after Y2K-Understanding the source area of pollen in sediments[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2000, 28(1): 1-18.
- [9] 许清海, 李曼玥, 张生瑞, 等. 中国第四纪花粉现代过程: 进展与问题[J]. *中国科学:地球科学*, 2015, 45(11): 1661-1682. [Xu Qinghai, Li Manyue, Zhang Shengrui et al. Modern processes of Quaternary pollen in China: Progress and problems. *Science China Earth Sciences*, 2015, 45(11): 1661-1682.]
- [10] 孔昭宸, 张芸, 王力, 等. 中国孢粉学的过去、现在及未来——侧重第四纪孢粉学[J]. *科学通报*, 2018, 63(2): 164-171. [Kong Zhaochen, Zhang Yun, Wang Li et al. The past, present and future of palynology in China: Emphasis on Quaternary palynology. *Chinese Science Bulletin*, 2018, 63(2): 164-171.]
- [11] Minckley T, Whitlock C. Spatial variation of modern pollen in Oregon and southern Washington, USA[J]. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2000, 112(1-3): 97-123.
- [12] Davis M B. On the theory of pollen analysis[J]. *American Journal of Science*, 1963, 261(10): 897-912.
- [13] 蒋忠诚, 李先琨, 曾馥平, 等. 岩溶峰丛洼地生态重建[M]. 北京: 地质出版社, 2007. [Jiang Zhongcheng, Li Xiankun, Zeng Fuping et al. Ecological reconstruction of Karst peak cluster depression. Beijing: Geological Publishing House, 2007.]
- [14] 何永彬, 张信宝, 贺秀斌. 利用¹³⁷Cs示踪和孢粉分析法对喀斯特峰丛草地洼地泥沙沉积及侵蚀环境的研究[J]. *水土保持通报*, 2013, 33(1): 246-250. [He Yongbin, Zhang Xinbao, He Xiubin. Study on sediment deposition and erosion environment of Karst Peak grassland depression by ¹³⁷Cs tracer and palynological analysis. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2013, 33(1): 246-250.]
- [15] 张凯选, 范鹏鹏, 王军邦, 等. 西南喀斯特地区植被变化及其与气候因子关系研究[J]. *生态环境学报*, 2019, 28(6): 1080-1091. [Zhang Kaixuan, Fan Pengpeng, Wang Junbang et al. Vegetation change and its relationship with climate factors in Karst areas of Southwest China. *Journal of Eco-Environment*, 2019, 28(6): 1080-1091.]
- [16] Zhang M Y, Zhang L, Ren X L et al. Effect of land use and land cover change on the changes in net primary productivity in Karst areas of Southwest China: A case study of Huanjiang Maonan Autonomous County[J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2020, 11(6): 606-616.
- [17] Zhang W, Zhao J, Pan F J et al. Changes in nitrogen and phosphorus limitation during secondary succession in a Karst region in southwest China[J]. *Plant and Soil*, 2015, 391(1): 77-91.
- [18] 张伟, 王克林, 刘淑娟, 等. 喀斯特峰丛洼地植被演替过程中土壤养分的积累及影响因素[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(7): 1801-

1808. [Zhang Wei, Wang Kelin, Liu Shujuan et al. Soil nutrient accumulation and its influencing factors during vegetation succession in Karst peak cluster depression. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(7): 1801-1808.]
- [19] 俞月凤, 何铁光, 杜虎, 等. 桂西北喀斯特地区不同退化程度植被群落物种组成及多样性特征[J]. *广西植物*, 2019, 39(2): 178-188. [Yu Yuefeng, He Tiegua, Du Hu et al. Species composition and diversity of vegetation communities with different degrees of degradation in Karst areas of Northwest Guangxi. *Guangxi Botany*, 2019, 39(2): 178-188.]
- [20] Faegri K, Kaland P E, Krzywinski K. Textbook of pollen analysis[J]. *Journal of Biogeography*, 1989, 12(12): 328.
- [21] 李永飞, 李春海, 许斌, 等. 苏鲁人类扰动区表土花粉组合与植被关系的研究[J]. *地球科学进展*, 2019, 34(4): 333-345. [Li Yongfei, Li Chunhai, Xu Bin et al. Relationship between topsoil pollen assemblage and vegetation in Sulu human disturbance area. *Advance in Earth Science*, 2019, 34(4): 333-345.]
- [22] 王伏雄, 钱南芬, 张玉龙, 等. 中国植物花粉形态(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 1995. [Wang Fuxiong, Qian Nanfen, Zhang Yulong et al. *Pollen Flora of China (Second Edition)*. Beijing: Science Press, 1995.]
- [23] 唐领余, 毛礼米, 舒军武, 等. 中国第四纪孢粉图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 2016. [Tang Lingyu, Mao Limi, Shu Junwu, et al. *Atlas of Quaternary Pollen and Spores in China*. Beijing: Science Press, 2016.]
- [24] 郝秀东, 欧阳绪红, 谢世友, 等. 典型喀斯特石漠化地区表土孢粉与现代植被关系[J]. *地理科学*, 2011, 31(6): 758-763. [Hao Xiudong, Ouyang Xuhong, Xie Shiyu et al. Relationship between surface soil palynology and modern vegetation in typical Karst rocky desertification area. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 31(6): 758-763.]
- [25] 李为花, 李丹, 张震, 等. 不同种植方式对田间杂草群落的影响[J]. *贵州农业科学*, 2014, 42(1): 89-93. [Li Weihua, Li Dan, Zhang Zhen et al. Effect of different planting methods on weed community in field. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2014, 42(1): 89-93.]
- [26] 郑振华, 田芳, 曹现勇, 等. 中原地区不同植被类型花粉组合特征及对周围植被的代表性[J]. *地理与地理信息科学*, 2008(4): 92-97. [Zheng Zhenhua, Tian Fang, Cao Xianrong et al. Characteristics of pollen assemblages of different vegetation types and their representation to surrounding vegetation in Central China. *Geography and Geo-Information Science*, 2008(4): 92-97.]
- [27] 李文静, 黄南, 张书辰, 等. 2017至2018年武汉城区花粉播散特征及其与变应性鼻炎患者就诊人次数的相关性研究[J]. *中华预防医学杂志*, 2021, 55(5): 620-626. [Li Wenjing, Huang Nan, Zhang Shuchen et al. Characteristics of pollen spread in Wuhan from 2017 to 2018 and its correlation with the number of visits in patients with allergic rhinitis. *Chinese Journal of Prev Med*, 2021, 55(5): 620-626.]
- [28] 郝秀东, 欧阳绪红, 郑丽波, 等. 浙江嵊州西白山表土花粉的初步研究[J]. *地理科学*, 2020, 40(6): 1010-1018. [Hao Xiudong, Ouyang Xuhong, Zheng Libo et al. A preliminary study on surface pollen of Xibai Mountain in Shengzhou, Zhejiang Province. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(6): 1010-1018.]
- [29] 李果, 沈泽昊, 应俊生, 等. 中国裸子植物物种丰富度空间格局与多样性中心[J]. *生物多样性*, 2009, 17(3): 272-279. [Li Guo, Shen Zehao, Ying Junsheng et al. Spatial patterns and diversity centers of Gymnosperms in China. *Biodiversity Science*, 2009, 17(3): 272-279.]
- [30] 陆双飞, 陈禹衡, 周斯怡, 等. 西南地区松属乔木对气候变化的响应[J]. *森林与环境学报*, 2020, 40(5): 272-279. [Lu Shuangfei, Chen Yuheng, Zhou Siyi et al. Response of *pinus* trees to climate change in Southwest China. *Journal of Forestry and Environment*, 2020, 40(5): 272-279.]
- [31] 梁绍斌, 卢杰. 办好基地 以点带面 环江退耕还林步入快车道[J]. *广西林业*, 2003(1): 29. [Liang Shaobin, Lu Jie. Run a good base with point and surface, Huanjiang enters the fast track of returning farmland to forest. *Guangxi Forestry*, 2003(1): 29.]
- [32] 韦瑞霞, 韦明兵. 广西河池市气候与板栗生产[J]. *贵州气象*, 2008, 32(3): 26-27. [Wei Ruixia, Wei Mingbing. Climate and chestnut production in Hechi City, Guangxi. *Guizhou Meteorology*, 2008, 32(3): 26-27.]
- [33] McAdam S A M, Brodribb T J. Stomatal innovation and the rise of seed plants[J]. *Ecology Letters*, 2012, 15(1): 1-8.
- [34] 王万海, 兰洪波, 姚雾清, 等. 茂兰喀斯特森林湿地蕨类植物初步调查[J]. *安徽农学通报*, 2018, 24(14): 65-66+70. [Wang Wanhai, Lan Hongbo, Yao Wuqing et al. Preliminary investigation of ferns in Karst forest wetland of Maolan. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2018, 24(14): 65-66+70.]
- [35] 郝秀东, 欧阳绪红, 谢世友, 等. 重庆喀斯特地区现代花粉组合与植被的关系[J]. *生态学报*, 2020, 40(15): 5266-5276. [Hao Xiudong, Ouyang Xuhong, Xie Shiyu et al. Relationship between modern pollen assemblages and vegetation in Chongqing Karst area. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(15): 5266-5276.]
- [36] 方伊曼, 马春梅, 孙文峰. 南京低山丘陵区表土及捕捉器花粉谱的差异探究[J]. *微体古生物学报*, 2015, 32(2): 147-160. [Fang Yiman, Ma Chunmei, Sun Wenfeng. Differences of topsoil and pollen spectra of traps in the hilly area of Nanjing. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2015, 32(2): 147-160.]
- [37] Li M Y, Li Y C, Xu Q H et al. Surface pollen assemblages of human-disturbed vegetation and their relationship with vegetation and climate in Northeast China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2012, 57(5): 535-547.

Relationship between topsoil sporopollen and modern vegetation in Karst peak-cluster depression in northwest of Guangxi: A case in Mengtong depression, Huanjiang County

Li Lixue^{1,2}, Hao Xiudong^{1,2,3,4,5}, Ouyang Xuhong^{1,2}, Xue Meiling^{1,2}, Lao Yueying^{1,2}, Qin Linjuan^{1,2}, Wei Jiasheng^{1,2}

(1. Key Laboratory of Beibu Gulf Environment Change and Resource Utilization (Nanning Normal University), Ministry of Education, Nanning 530001, Guangxi, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Earth Surface Processes and Intelligent Simulation, Nanning Normal University, Nanning 530001, Guangxi, China; 3. Guangxi Academy of Science, Guangxi Mangrove Research Center, Guangxi Key Laboratory of Mangrove Conservation and Utilization, Beihai 536000, Guangxi, China; 4. Key Laboratory of Karst Dynamics, MNR & GZAR, Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin 541004, Guangxi, China; 5. State Key Laboratory of Modern Paleontology and Stratigraphy, Nanjing Institute of Geology and Paleontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, Jiangsu, China)

Abstract: Pollen analysis of the strata is one of the important methods to explore paleo-vegetation and paleoclimate. However, the prerequisite for accurate decipher stratigraphic pollen is to analysis the relationship between topsoil pollen and modern vegetation. Based on this, 37 samples were selected for the study, Which from 6 different land use types in a typical Karst Peak-cluster depression area in southern Huanjiang, Guangxi. The results showed that: 1) 68 families/genera of pollen types were identified, the pollen assemblages are dominated by conifers, with content of 27.40%-59.12%, among which the main pollen taxa is *Pinus*; Fern spore (15.67%-55.29%) is next, dominated by *Dicranopteris*, *Pteris* and Polypodiaceae; Then there is herbaceous pollen (9.31%-41.17%), among which the main pollen taxa are Poaceae, Amaranthaceae/Chenopodaceae and Asteraceae. The lowest content of 0.28%-16.01% was found in broad-leaved trees, among which the main pollen taxa are *Chestnut*, *Quercus*, Fabaceae and Euphorbiaceae; The topsoil pollen assemblages can basically reflect the general characteristics of the vegetation around the depression. 2) The content of herbaceous pollen in paddy field was the highest, reaching 41.17%, mainly in rice-type Gramineae ($\geq 40\ \mu\text{m}$); Secondary forest, abandoned land and maize field have higher fern spore content, reaching 55.29%, 44.50% and 40.50%, respectively. 3) PCA analysis could better distinguished paddy field, maize field, secondary forest, orange forest, and abandoned land, but mulberry forest was not well distinguished, which might be related to the fact that mulberry genus is wind-borne pollen, as well as the sampling time and pollen preservation condition. 4) The concentration of pollen in non-agricultural land is significantly higher than that in agricultural land, which may be related to it's upper vegetation cover and difference in topsoil disturbance. The results of this study can provide a reference basis for ecological restoration, Quaternary paleo-environment, and paleo-vegetation reconstruction studies in Karstic desertification areas of Guangxi.

Key words: topsoil pollen assemblages; Northwest of Guangxi; Karst; peak-cluster depression; modern vegetation