

DOI: 10.5846/stxb201907091445

郝秀东, 欧阳绪红, 谢世友, 魏兴萍. 重庆喀斯特地区现代花粉组合与植被的关系. 生态学报, 2020, 40(15): 5266-5276.

Hao X D, Ouyang X H, Xie S Y, Wei X P. Modern palynomorph assemblages and their relationships with vegetation in karst areas of Chongqing, Southwestern China. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(15): 5266-5276.

重庆喀斯特地区现代花粉组合与植被的关系

郝秀东^{1,2}, 欧阳绪红^{1,2,*}, 谢世友³, 魏兴萍⁴

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, 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, 南宁 530001

3 西南大学地理科学学院, 重庆 400715

4 重庆师范大学地理与旅游学院, 重庆 400047

摘要: 重庆喀斯特地区 4 种不同地貌单元的 81 份表土和苔藓样品的孢粉分析结果表明: (1) 研究区植物孢粉组合共由 109 科属组成。除金佛山外, 其他植被退化严重地区样点均以草本和蕨类植物占据优势 (剔除石漠化治理大量引种的马尾松、柳杉和侧柏等乔木花粉), 其次是乔木植物花粉 (主要为马尾松), 灌木植物花粉含量很低, 显示该区植被退化严重; (2) 孢粉组合的 PCA 分析能够很好地将研究区的现代孢粉组合区分开来, 较好地反映了重庆喀斯特地区不同地貌单元的植被特征, 特别是石漠化区植被退化严重的孢粉组合特征。生态保护较好、自然植被发育的金佛山地区具有 106 科属的乔木、灌木与草本孢粉类型, 以及高含量的乔木花粉, 而喀斯特石漠化地区的鸡公山 (46 科属)、青木关镇 (56 科属) 和南平镇 (50 科属) 则表现为乔灌木孢粉类型较少; (3) 银杉作为金佛山特有的孑遗植物, 其花粉含量明显低于松属花粉, 说明其花粉不利于远距离传播; (4) 随着土地利用强度的增加, 现代孢粉组合中乔灌木花粉含量和种类越少, 草本和蕨类植物孢粉含量越多, 且以耕地杂草为主。因此, 土地利用方式的变化是喀斯特石漠化区次生植被及其现代孢粉组合变化的主要影响因素。研究可为重庆喀斯特地区土地利用策略的制定, 重庆及其周边地区第四纪古植被、古气候和古环境重建研究, 以及中国孢粉数据库建设提供基本数据和科学依据。

关键词: 表土孢粉组合; 现代植被; 石漠化区; 喀斯特; 重庆

Modern palynomorph assemblages and their relationships with vegetation in karst areas of Chongqing, Southwestern China

HAO Xiudong^{1,2}, OUYANG Xuhong^{1,2,*}, XIE Shiyu³, WEI Xingping⁴

1 Key Laboratory of Beibu Gulf Environment Change and Resources Utilization (Nanning Normal University), Ministry of Education, Nanning 530001, China

2 Guangxi Key Laboratory of Earth Surface Processes and Intelligent Simulation, Nanning Normal University, Nanning 530001, China

3 School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China

4 School of Geographic and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China

Abstract: Palynological analysis was carried out on 81 samples of topsoils and mosses collected from four different landforms in the karst areas of Chongqing City, Southwestern China. The results are summarized here. (1) A total of 109 pollen taxa (genera or family) were identified, which were dominated by herbs and ferns, followed by trees (mainly *Pinus massoniana*); shrub pollen content was the lowest (excluding Mt. Jinfo). These results revealed serious degradation of vegetation in the study area. (2) PCA analysis could distinguish the modern samples, which better reflects the characteristics of pollen assemblages in the karst areas, especially in the rocky desertification areas. In Mt. Jinfo with good

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41861020); 广西自然科学基金项目 (2018GXNSFAA281264); 广西科技计划项目 (桂科 AD19245018); 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 (GTEU-KLXTJJ-201712)

收稿日期: 2019-07-09; **网络出版日期:** 2020-05-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 1310825@tongji.edu.cn

ecological protection and natural vegetation development, we found 106 families of trees, shrubs and herbaceous pollen types, and a high content of arboreal pollen. On the contrary, fewer types of trees and shrubs were found in the karst rocky desertification areas, such as Mt. Jigong (46 families), Qingmuguan Town (56 families), and Nanping Town (50 families). (3) As the unique relict plant of Mt. Jinpo, the percentage of *Cathaya argyrophylla* pollen was much lower than that of *Pinus* pollen, indicating that its pollen is not suitable for long-distance transmission. (4) The proportions of trees and shrubs pollen decreased with the increasing land use intensity, while those of herbs and ferns increased, which were heavily dominated by pollen of weeds. Therefore, we conclude that the change in land use is the main factor affecting the secondary vegetation and pollen assemblages in the karst areas we studied. The results can provide some guidance for land use decision-making for the Chongqing karst areas, and can also provide some basic data and reference for Quaternary paleo-vegetation, paleoclimate and paleoenvironment reconstructions in Chongqing and its surrounding areas, and for the construction of the China Pollen Database.

Key Words: surface palynomorph assemblages; modern vegetation; rocky desertification areas; karst; Chongqing

喀斯特地区的石漠化已经成为继沙漠化和水土流失之后的第三大生态问题,是我国西南最严重的生态灾难^[1-6]。截至 2016 年底,我国喀斯特地区石漠化土地总面积为 10.07 万 km²,占区域国土面积的 9.4%,占喀斯特区面积的 22.3%,涉及湖北、湖南、广东、广西、重庆、四川、贵州和云南 8 个省(自治区、直辖市)。其中,重庆市的石漠化面积已经达到 0.77 万 km²^[7]。为遏制石漠化的发展,促进喀斯特地区生态经济的增长,许多学者对改善石漠化生态环境、协调人地关系的可持续发展等进行了深入的研究,提出了一系列治理方案,取得了丰硕的研究成果^[8-22]。然而,纵观众多石漠化治理的研究,大多侧重于水文、生态和土壤^[23-22]等方面,而从古生态学和孢粉学研究角度来开展的研究还鲜有报道^[23-26]。孢子、花粉(简称孢粉)是植物的组成部分,因其外壁含有耐高温、氧化和酸碱腐蚀的孢粉素(C₉₆H₂₂O₂₄),使之在漫长的地质年代里,可以很好的保存下来^[27];加之其产量大、种类丰富等优势,孢粉已成为最直接、最可信的古环境和古植被代用指标之一,并在正确认识和恢复过去环境和植被变化方面具有不可替代的作用^[28-32]。但由于孢粉受其自身形态结构、产量、沉降、传播、保存以及外部环境等多方面因素的影响,其与植被的关系并非简单的线性关系,在研究中孢粉与植被关系的确定又直接影响着利用孢粉分析来恢复和重建古植被、古气候和古环境的准确性^[33-34]。研究表土孢粉与现代植被的关系,被普遍认为是解决这一问题的的重要途径。现代样品(表土,特别是苔藓等)中的孢粉组合代表了多年花粉雨的平均状况,最能反映现代植被客观情况的一项生态指标^[35-36]。

本研究通过对重庆喀斯特地区具有代表性的四种地貌单元,如生态环境保护较好的金佛山、典型山地植被恢复中的鸡公山、喀斯特槽谷区的青木关镇和石漠化较为严重的南平镇(图 1),进行全面系统的现代表土孢粉研究,得出重庆喀斯特地区不同植被类型的孢粉组合特征,并尝试厘清其区域差异性,为重庆及其周边地区的生态恢复工程与土地利用规划的决策制定,第四纪古植被、古气候和古环境重建研究,以及中国孢粉数据库建设等提供参考数据与科学依据。

1 研究区概况

金佛山位于重庆市南川区东南隅(106°54′—107°27′E, 28°46′—29°38′N),面积约 441 km²,海拔 1400—2251 m,山顶与盆地间相对高差达 1600 m,属典型的岩溶地质地貌。山体上部多年平均气温 8.5℃,年均降雨量约 1434.5 mm;山体下部平均气温 16.6℃,年均降雨量约 1286.5 mm。该山属亚热带湿润季风气候区,云雾多,日照少,雨量充沛,湿度大,从山脚到山顶气候垂直变化明显,温度差达 5—6℃。植被类型丰富多样,主要有:亚热带常绿阔叶林、亚热带常绿落叶阔叶混交林、山地矮林、亚热带针叶林、亚热带竹林、亚热带落叶阔叶林、灌丛和草甸等^[37]。

鸡公山位于重庆市北碚观音峡背斜(106°18′14″—106°56′53″E, 29°39′10″—30°03′53″N),海拔 400—

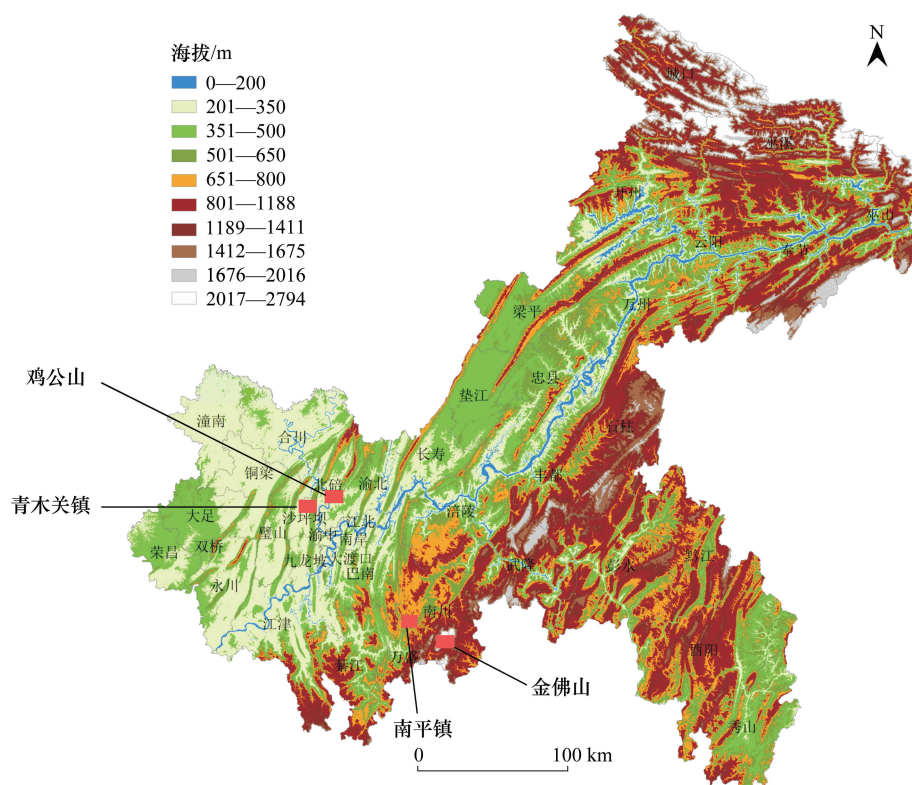


图1 研究区位置图

Fig.1 Location of the study area

700 m,属于渝中喀斯特槽谷低山。年均气温 16.17 °C,年均降雨量 885 mm 左右。地带性植被为中亚热带常绿阔叶林,但原始林已不存在,目前当地均为次生林,乔木为侧柏(*Platycladus orientalis*)、棕榈(*Trachycarpus fortunei*)等,林下灌木为火棘(*Pyracantha fortuneana*)、马桑(*Coriaria sinica*)、铁仔(*Myrsine africana*),草本层为白茅(*Imperata cylindrica*)等。由于破坏严重,林地呈斑块状分布。农业种植多为小麦-玉米-红薯,一年两熟到三熟。完整的植被演替序列为坡耕地-弃耕地-灌草地-疏林地-次生林地。

青木关镇位于重庆北碚区、沙坪坝区和璧山县的交界处(106°17'12"—106°19'45"E,29°40'48"—29°46'29"N),面积约 11.4 km²,属于亚热带湿润季风型气候,冬暖夏热,雨量丰沛。多年平均气温为 18 °C,1 月平均气温为 5 °C,7 月平均气温为 27 °C,极端最高温为 43 °C,极端最低温为-3.1 °C,多年平均降水量为 1000 mm,主要集中在 4—10 月,特别是 6—8 月,11—3 月降雨较少。区内地带性植被为亚热带常绿阔叶林,但原始林已不存在,目前均为次生林,主要土地利用类型有次生林地、竹林地、果园地、退耕地、菜地、撂荒地、耕地和稻田等。区内乔木多为马尾松(*Pinus massoniana*)、杉科(*Taxodiaceae*)、柏科(*Cupressaceae*)、合欢(*Albizia julibrissin*)等,林下灌木多为马鞭草科(*Verbenaceae*)、杜鹃花属(*Rhododendron*)等,草本层为荨麻属(*Urtica*)、凤尾蕨属(*Pteris*)、芒萁属(*Dicranopteris*)等。农作物以水稻(*Oryza sativa*)、玉米(*Zea mays*)、甘薯(*Ipomoea batatas*)及各类蔬菜为主。

南平镇地处重庆市南川区(106°54'12"—107°27'15"E,28°46'08"—39°31'19"N),距市中心 16 km,海拔 640—1031 m,年均气温 16 °C。多年平均降水量 1300 mm,最大年降水量 1528 mm,最小年降水量 826 mm,降雨主要在 5—9 月,占全年的 67.9%。该区地处四川盆地与云贵高原的过渡地带,地带性植被为亚热带常绿阔叶林,但由于长期遭受人类不合理的土地利用,喀斯特石漠化现象较为严重,目前原始林已不存在,均为次生林,呈斑块状分布。乔木以马尾松(*Pinus massoniana*)、樟树(*Cinnamomum camphora*)等为主,林下灌木为火棘(*Pyracantha fortuneana*)等,草本层为荨麻属(*Urtica*)、凤尾蕨属(*Pteris*)等。

2 材料与方法

2.1 群落调查和样品采集

野外工作中,同时进行研究区群落调查和野外样品采集。采样前先记录样方内的群落特征,如植物群落总盖度、种分盖度、种名、高度、多度等。表土和苔藓样品均按“梅花点”法取样,即在 1 m×1 m 样方范围内,采集样方的四角和中心的共 5 份表土(土层 0—1 cm)或苔藓样品,充分混合后装入取样袋内。采集林地、次生林地、灌丛、草甸、灌草地、园地、荒草地、坡耕地及稻田等不同土地利用方式下的植物群落,共采集了 49 份表土及 32 份苔藓样品(表 1)。

表 1 重庆喀斯特地区现代孢粉采样点的基本信息

Table 1 Basic features of the sampling sites for modern pollen in karst areas of Chongqing, Southwestern China

喀斯特区 Karst areas	样地编号 Site No.	纬度 Latitude (N)	经度 Longitude (E)	海拔 Elevation/m	土地利用方式/植被类型 Land use pattern/Vegetation type
金佛山喀斯特山地	JFS-1	29°02.104′	107° 11.566′	2230	亚热带常绿落叶阔叶混交林
	JFS-2	29°02.143′	107° 11.193′	2170	山地矮林
	JFS-3	29°02.072′	107° 10.964′	2150	灌丛
	JFS-4	29° 01.762′	107° 11.176′	2110	草甸
	JFS-5	29° 01.900′	107° 10.996′	2090	灌草地
	JFS-6	29° 02.654′	107° 11.056′	1600	亚热带常绿阔叶林
	JFS-7	29° 02.724′	107° 11.172′	1530	亚热带竹林
	JFS-8	29° 03.449′	107° 11.961′	1190	亚热带落叶阔叶林
	JFS-9	29° 03.659′	107° 12.140′	1170	亚热带常绿针叶林
	JFS-10	29° 03.369′	107° 12.113′	952	亚热带针阔混交林
鸡公山喀斯特 山地恢复区	JGS-1	29° 41.234′	106° 24.244′	533	坡耕地
	JGS-2	29° 41.201′	106° 24.315′	604	1a 弃耕地
	JGS-3	29° 41.199′	106° 24.327′	605	灌草地
	JGS-4	29° 41.340′	106° 24.416′	632	15a 疏林地
	JGS-5	29° 41.326′	106° 24.360′	643	25a 次生林地
青木关喀斯特 槽谷区	QMG-1	29° 41′14.1″	106°18′00.8″	419	次生林地
	QMG-2	29° 41′15.4″	106°18′01.8″	374	竹林
	QMG-3	29° 40′48.2″	106°17′40.3″	317	果园
	QMG-4	29°40′58.7″	106°17′50.0″	360	菜地
	QMG-5	29°04′13.6″	106°18′01.1″	411	退耕地
	QMG-6	29° 40′54.9″	106° 17′47.1″	323	撂荒地
	QMG-7	29° 40′45.0″	106° 17′40.3″	325	耕地
	QMG-8	29° 40′49.0″	106°17′45.9″	321	稻田
南平镇喀斯特 漠化区	NP-1	29° 04.848′	107° 00.138′	719	次生马尾松林
	NP-2	29° 04.743′	106° 59.911′	742	次生樟树林
	NP-3	29° 04′31″	106°59′35″	641	次生柳杉林
	NP-4	29° 04′54″	107°00′09″	732	次生桃林地
	NP-5	29° 04.986′	107° 00.034′	735	荒草地
	NP-6	29° 04.753′	106° 59.977′	740	坡耕地
	NP-7	29° 04′17″	106°59′41″	628	稻田
	NP-8	29° 04′18″	107°00′03″	629	藕田

2.2 实验处理与孢粉鉴定

现代孢粉样品的实验处理和显微镜鉴定分别在西南大学地理科学学院和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。表土孢粉样品采用盐酸、碱处理和重液浮选的方法;苔藓样品的实验室处理采用传统的过筛法^[38],即先加氢氧化钾,过 200 μm 筛后,再加盐酸和氢氟酸处理,最后在超声波中用

7 μm 筛收集。孢粉的鉴定和统计是在 Nikon Ni-U 光学生物显微镜 10×40 倍下进行,对个体极小的孢粉放大至 10×60 倍,参照《中国植物花粉形态》^[39]和《中国蕨类植物孢子形态》^[40]等相关正式出版的图版进行鉴定。运用 Nikon DS-Fi2 光学显微镜拍照系统对孢粉进行拍照。共统计有效孢粉 60553 粒,每个样品不少于 550 粒,孢粉百分比含量按孢子与花粉总数来计算。依据前人对水稻现代花粉的研究^[41-44],水稻花粉的粒径大小在 34—45 μm 之间,明显大于多数野生属种的禾本科植物花粉。据此,本研究将禾本科花粉按照粒径大小,划分为 $\geq 40\ \mu\text{m}$ 和 $<40\ \mu\text{m}$ 两组;其中, $\geq 40\ \mu\text{m}$ 的禾本科花粉中很可能含有较多的具有人工栽培作物的禾本科植物(如水稻等)的花粉。

孢粉百分比图谱使用 Tilia(1.7.16)软件建立,PCA 分析运用 Canoco 4.5 软件完成。孢粉标本保存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。

3 孢粉分析结果

重庆喀斯特地区现代表土和苔藓样品共鉴定出孢粉 109 科属(表 2),主要孢粉百分比见图 2,其中针叶乔木类 8 科属,阔叶乔木和灌木类 58 科属,草本类 28 科属,蕨类孢子 15 科属,另有淡水藻类 1 属。具体孢粉类型及其与来源植物的对应关系^[45]详见表 2。

表 2 重庆喀斯特地区现代孢粉样品鉴定的孢粉类型
Table 2 Pollen taxa identified from the modern samples in karst area of Chongqing, Southwestern China

针叶乔木类 Conifers taxa	阔叶乔木和灌木类 Broadleaved trees and shrubs		草本 Herbs	蕨类 Ferns
松属(<i>Pinus</i>)	常绿栎属(<i>Quercus-evergreen</i>)	桤木属(<i>Alnus</i>)	禾本科(<i>Poaceae</i>)	芒萁属(<i>Dicranopteris</i>)
银杉属(<i>Cathaya</i>)	栲属(<i>Castanopsis</i>)	桦木属(<i>Betula</i>)	蒿属(<i>Artemisia</i>)	水龙骨科(<i>Polypodiaceae</i>)
雪松属(<i>Cedrus</i>)	桑科(<i>Moraceae</i>)	榛属(<i>Corylus</i>)	藜科(<i>Chenopodiaceae</i>)	凤尾蕨属(<i>Pteris</i>)
柳杉属(<i>Cryptomeria</i>)	榆属(<i>Ulmus</i>)	枫杨属(<i>Pterocarya</i>)	天南星科(<i>Araceae</i>)	阴地蕨属(<i>Botrychium</i>)
柏科(<i>Cupressaceae</i>)	木犀科(<i>Oleaceae</i>)	朴属(<i>Celtis</i>)	毛茛科(<i>Ranunculaceae</i>)	卷柏属(<i>Selaginella</i>)
杉科(<i>Taxodiaceae</i>)	枫香属(<i>Liquidambar</i>)	落叶栎属(<i>Quercus-deciduous</i>)	菊科(<i>Asteraceae</i>)	介蕨属(<i>Dryothyrrium</i>)
银杏属(<i>Ginkgo</i>)	合欢属(<i>Albizia</i>)	杜茎山属(<i>Maesa</i>)	苋属(<i>Amaranthus</i>)	蹄盖蕨科(<i>Athyriaceae</i>)
红豆杉科(<i>Taxaceae</i>)	火棘属(<i>Pyracantha</i>)	马鞭草科(<i>Verbenaceae</i>)	车前属(<i>Plantago</i>)	肾蕨属(<i>Nephrolepis</i>)
	柳属(<i>Salix</i>)	忍冬科(<i>Caprifoliaceae</i>)	玉米属(<i>Zea</i>)	紫萁科(<i>Osmundaceae</i>)
	山核桃属(<i>Carya</i>)	锦葵科(<i>Malvaceae</i>)	稻属(<i>Oryza</i>)	莲座蕨科(<i>Angiopteridaceae</i>)
	猕猴桃属(<i>Actinidia</i>)	萝藦科(<i>Asclepiadaceae</i>)	荨麻属(<i>Urtica</i>)	海金沙科(<i>Lygodiaceae</i>)
	无患子科(<i>Sapindaceae</i>)	铁线莲属(<i>Clematis</i>)	石竹科(<i>Caryophyllaceae</i>)	石松科(<i>Lycopodiaceae</i>)
	大戟科(<i>Euphorbiaceae</i>)	龙舌兰科(<i>Agavaceae</i>)	十字花科(<i>Brassicaceae</i>)	碗蕨科(<i>Dennstaedtiaceae</i>)
	五加科(<i>Araliaceae</i>)	冬青属(<i>Ilex</i>)	石蒜科(<i>Amaryllidaceae</i>)	铁角蕨科(<i>Asplenaceae</i>)
	金丝桃属(<i>Hypericum</i>)	胡椒科(<i>Piperaceae</i>)	鸢尾科(<i>Iridaceae</i>)	金星蕨科(<i>Thelypteridaceae</i>)
	防己科(<i>Menispermaceae</i>)	金缕梅科(<i>Hamamelidaceae</i>)	列当科(<i>Orobanchaceae</i>)	
	卫矛属(<i>Euonymus</i>)	茜草科(<i>Rubiaceae</i>)	唇形科(<i>Lamiaceae</i>)	淡水藻类 Freshwater algae
	棕榈科(<i>Palmae</i>)	蔷薇科(<i>Rosaceae</i>)	伞形科(<i>Umbelliferae</i>)	环纹藻属(<i>Concentricystes</i>)
	马桑属(<i>Coriaria</i>)	含羞草属(<i>Mimosa</i>)	旋花科(<i>Convolvulaceae</i>)	
	微花藤属(<i>Iodes</i>)	柑橘属(<i>Citrus</i>)	蓼科(<i>Polygonaceae</i>)	
	安息香科(<i>Styracaceae</i>)	蝶形花科(<i>Papilionaceae</i>)	爵床科(<i>Acanthaceae</i>)	
	椴木属(<i>Loropetalum</i>)	牡荆属(<i>Vitex</i>)	曲苞芋属(<i>Gonatanthus</i>)	
	桑寄生科(<i>Loranthaceae</i>)	金合欢属(<i>Acacia</i>)	玄参科(<i>Scrophulariaceae</i>)	
	领春木属(<i>Euptelea</i>)	紫金牛科(<i>Myrsinaceae</i>)	茄科(<i>Solanaceae</i>)	
	十大功劳属(<i>Mahonia</i>)	木通科(<i>Lardizabalaceae</i>)	豆科(<i>Leguminosae</i>)	
	青冈属(<i>Cyclobalanopsis</i>)	金粟兰科(<i>Chloranthaceae</i>)	莲属(<i>Nelumbo</i>)	
	栗属(<i>Castanea</i>)	芸香科(<i>Rutaceae</i>)	谷精草科(<i>Eriocaulaceae</i>)	
	杜鹃属(<i>Rhododendron</i>)	小檗科(<i>Berberidaceae</i>)	泽泻属(<i>Alisma</i>)	
	女贞属(<i>Ligustrum</i> .)	鼠李科(<i>Rhamnaceae</i>)		

3.1 金佛山喀斯特山地的孢粉组合

现代孢粉组合共由 106 科属组成,其中以针叶乔木、蕨类和阔叶乔木花粉孢粉占优势,含量分别为 8.94%—56.30%、19.73%—46.77%和 6.17%—39.28%,其次是灌木和草本花粉,分别为 6.24%—29.77%和 5.58%—18.24%,沼生草本花粉含量最低,仅为 0.14%,且仅在靠近水源的样点 JFS-5 少量发现。

3.2 鸡公山喀斯特山地典型植被恢复过程中的孢粉组合

现代孢粉组合共由 46 科属组成,以草本、针叶乔木和蕨类孢粉占优势,含量分别为 17.41%—46.16%、27.73%—39.75%和 16.65%—33.14%,其次是阔叶乔木花粉,花粉含量为 2.53%—17.58%,灌木花粉含量最低,为 1.04%—8.88%。

3.3 青木关镇喀斯特槽谷区的孢粉组合

现代孢粉组合共由 56 科属组成,以草本和蕨类植物占据优势(除竹林和果园外),含量为 29.25%—81.45%,其次是乔木(主要为马尾松),含量为 15.72%—61.38%,灌木植物花粉含量最低,为 0.00—1.11%。

3.4 南平镇喀斯特石漠化区的孢粉组合

现代孢粉组合共由 50 科属组成,以草本和蕨类植物占据优势(除次生马尾松林、次生柳杉林和桃树林外),含量为 38.84%—86.56%,其次是乔木(主要为马尾松),含量为 13.42%—59.40%,灌木植物花粉含量最低,为 0.00—12.50%。

3.5 PCA 分析结果

为了更好的探讨重庆喀斯特地区现代孢粉的传播规律,厘清现代孢粉与植被的关系,对其主要花粉类型(共 13 科属)进行了主成分(PCA)分析。PCA 分析结果显示(图 3),四轴的特征值分别为 0.686、0.431、0.115、0.037,可见主要花粉类型的离散性较好,差异较大,可以将其很好的分类。松属、柳杉属、禾本科($\geq 40\text{ }\mu\text{m}$;水稻型花粉)、玉米属、凤尾蕨属和芒萁属等与人类活动密切相关的属种均分布在第一象限,杂草类(禾本科 $<40\text{ }\mu\text{m}$)和银杉属分布在第二象限,棕榈科和雪松属则分布在第三象限(图 3)。

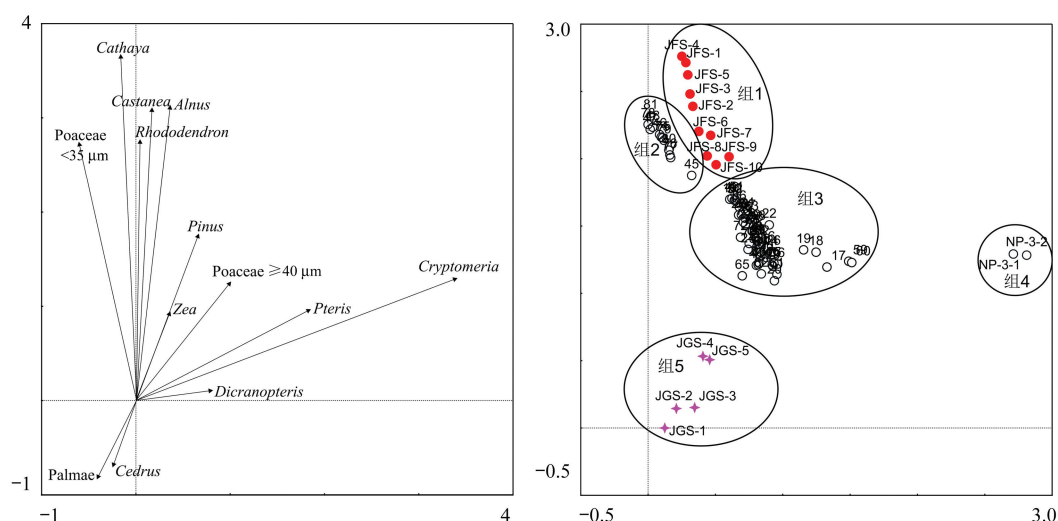


图 3 重庆喀斯特地区主要孢粉类型及样点的 PCA 结果

Fig.3 The result of principal component analysis (PCA) for major pollen types and samples in karst areas of Chongqing, Southwestern China

根据所有样品的排序结果(图 3),可以将 81 个样品划分为 5 组(组 1、组 2、组 3、组 4 和组 5):第一组包含 10 个样品,为金佛山喀斯特山地样品,主要植被类型为亚热带常绿阔叶林、亚热带落叶阔叶林、亚热带常绿落叶阔叶混交林、亚热带常绿针叶林、亚热带针阔混交林、山地矮林、亚热带竹林等;第二组包括 12 个样品,为青木关镇喀斯特槽谷区和南平镇喀斯特石漠化区的稻田和藕田样品;第三组包括 52 个样品,为青木关镇喀斯

特槽谷区和南平镇喀斯特石漠化区样品,主要植被类型为竹林、果园、菜地、退耕地、撂荒地等;第四组包括 2 个样品,为南平镇喀斯特石漠化区的次生柳杉林样品;第五组包含 5 个样品,为鸡公山喀斯特植被恢复过程中的样品,主要植被类型为坡耕地、弃耕地、灌草地、疏林地、次生林地。

4 讨论

4.1 表土和苔藓样品的孢粉组成对比

现代表土的孢粉组合与当地植被状况及沉积环境关系密切,可以很好地反映当今及过去一段时间内的植被状况^[46-47]。与表土相比,苔藓则是现代植物孢子、花粉的天然捕获器,由于其生长年限较短,一般在 1—2 年^[48],多达 15 年^[49],因此,可以收集研究区内近年来的花粉雨。同时,苔藓的孢粉源区更加受控于局地植被的影响^[50-51],与现代植被的关系更加紧密。本研究共采集了 49 块表土及 32 块苔藓样品,通过对其孢粉组合的对比分析来看,表土孢粉组合特征比较稳定,似乎更加代表了多年平均的孢粉结果,而苔藓样品的孢粉组合则波动较大,如 NP-3 次生柳杉林样品,其 2 个苔藓样品的柳杉花粉含量(分别为 60.46% 和 66.27%)明显高于表土样品(分别为 6.67% 和 7.76%),这可能与采样时间刚过柳杉花期有关;同时, NP-3 次生柳杉林苔藓样品的凤尾蕨属孢子的含量(分别为 45.85% 和 38.51%)也明显高于表土样品(分别为 5.07% 和 4.75%),可能与苔藓样品的采样地点位于凤尾蕨丛中有关。该结论对于今后的现代孢粉组合与植被定量关系的研究,特别是现代孢粉样品的采集具有一定的指导意义和参考价值。

4.2 现代花粉组合与植被的关系

本研究的表土和苔藓孢粉样品,其花粉源区主要来自于研究样地母体植物群落近年来由于风力、流水等自然因素沉降下来的花粉雨,理论上其表土花粉组合可以与现代植被一一对应,但是,由于不同植物类型的花粉产量、扩散方式(风媒、虫媒)、传播与散布能力、花粉沉积及保存情况不尽相同,表土花粉组合与现代植被在含量上会出现差异。

从孢粉组合成分及含量来看,整个重庆喀斯特地区的现代花粉组合与现代植被的组成、建群种基本一致,较好的反映了现代植被的整体面貌特征。PCA 分析结果(图 3)表明,通过样点排序可以很好地将金佛山喀斯特山地、鸡公山喀斯特植被恢复过程中的山地、稻田和藕田样品等较好地区分开。但是,由于局地小生境、人类活动、不同植物花粉本身的因素等影响,导致表土花粉组合与现代植被出现差异性,具体表现为:

4.2.1 孢粉科属类型的差异

本研究共鉴定表土花粉分属 109 科属,远低于重庆喀斯特地区,尤其是金佛山自然保护区的现代植被群落,据调查,在金佛山地区,有记载或调查中已经发现的植物已经达到 294 科 1539 属 5654 种^[37]。

4.2.2 孢粉组成成分的差异

一些现代植被中常见植物在表土花粉中含量极低或缺失,如在金佛山方竹(*Chimonobambusa utilis*)林地,虽然分布着大量的方竹,但该样点的禾本科花粉含量极低,可能与金佛山方竹没有开花有关。

一些研究区内常见的植物如金佛山的杜鹃花,喀斯特槽谷区和石漠化区大量种植的玉米等,但其花粉含量却很低,这可能与花粉产量及传播方式有关。

4.2.3 不同地貌单元孢粉组合的差异

重庆金佛山喀斯特山地、鸡公山喀斯特山地典型植被恢复区、青木关镇喀斯特槽谷区和南平镇喀斯特石漠化区的现代孢粉组合显示出明显差异。除了金佛山样品鉴定的孢粉种类(106 科属)较多以外,其余样点的孢粉种类均较低,鸡公山样品由 46 科属组成,青木关镇样品由 56 科属组成,南平镇由 50 科属组成。同时,孢粉结果中除了金佛山样品的乔木花粉含量较高外,其他样品的乔木花粉多为当地石漠化治理过程中大量种植的马尾松、柳杉和侧柏等。如果剔除引种植物花粉类型,其乔木花粉含量应较低,鸡公山、青木关镇和南平镇的样品,均以草本和蕨类孢粉占优势,这与该区地带性植被差异很大。该区所处亚热带湿润季风区,地带性植被为亚热带常绿阔叶林,乔木在群落中理应占据优势地位。这与喀斯特生态保护较好的金佛山表土孢粉分析

结果差异明显,显示出喀斯特石漠化区植被严重退化的孢粉组合特征。

4.3 喀斯特地区主要花粉类型的代表性

松属植物(主要是马尾松)主要分布在金佛山林地,而在喀斯特槽谷区和石漠化区只是零星出现,但松属花粉却出现在所有样品中,且含量均较高(3.02%—72.35%),说明松属花粉易于传播,易于保存,具有超代表性^[52],这与前人的研究结果相一致。

银杉是重庆金佛山喀斯特山地特有的孑遗植物,在金佛山西坡、北坡等地成林分布,但其花粉含量却很低(2.04%—7.5%),说明与同为裸子植物的松属植物相比,其花粉却并不利于远距离传播。

柳杉属于裸子植物,主要靠风媒传播花粉。但在南平镇研究区内,仅在次生柳杉林内发现大量的柳杉花粉(6.67%—66.27%),其林地附近却很少发现,甚至消失,这是否与柳杉花粉在喀斯特地区雨热同期的气候条件下易于氧化分解有关呢,还需要后期更加细致的现代孢粉过程研究来验证。

香樟是重庆喀斯特区常见树种,其在 NP-2 样点的次生樟树林中更是建群种。但在此次的表层土壤和苔藓样品中,香樟花粉缺失。这与其花粉外壁薄、在进行酸碱处理实验时容易破碎,不易保存有关。

杜鹃花是金佛山分布较广的一种植物,但其花粉含量在整个研究区内很低(0—2.32%),这可能与其花粉产量较低,且为虫媒传播有关。

水稻型禾本科($\geq 40\ \mu\text{m}$)花粉,除了大量出现在研究区的稻田和藕田样点之外,其他样点的含量极低,甚至缺失,这可能与水稻多种植在研究区的低洼地带,且其花粉本身也不利于远距离传播有关。

玉米目前是重庆喀斯特地区常见的作物,但其花粉在整个研究区内含量很低,为 0—7.85%,这可能与玉米花粉普遍较大,不利于远距离传播有关,也说明玉米花粉具有低代表性。

蕨类孢子在研究区的含量整体较高(5.85%—59.19%),且多为芒萁属、凤尾蕨属和肾蕨属等喜钙性、旱生性、石生性蕨类植物,这可能与喀斯特地区大量碳酸盐岩的风化和生物分解,产生了大量易于植物吸收的钙离子等有关。说明在喀斯特地区,蕨类孢子也具有超代表性。

5 结论

(1)现代孢粉组合的差异,能够反映重庆喀斯特地区不同地貌单元现代植被的基本状况。除金佛山外,研究区其他样点的乔木花粉多为当地石漠化治理过程中大量种植的马尾松、柳杉和侧柏等。PCA 分析能够很好地将金佛山喀斯特山地孢粉样品与鸡公山喀斯特植被恢复过程山地、青木关镇喀斯特槽谷区和南平镇喀斯特石漠化区的孢粉样品很好的区分出来,较好地反映了喀斯特地区,特别是石漠化区植被退化严重的孢粉组合特征。

(2)土地利用方式的变化是对喀斯特石漠化区次生植被及其表土孢粉组合的主要影响因素。喀斯特地区生态保护较好、自然植被发育的金佛山地区具有更丰富的乔木、灌木与草本孢粉类型组合,并以高含量的乔木花粉为特点;相比之下鸡公山、青木关镇和南平镇的孢粉组合特征表现为乔灌木孢粉类型较少,反映了喀斯特石漠化地区植被严重退化的孢粉组合特征。本研究揭示的喀斯特地区原生植被、次生植被与石漠化地区的现代孢粉组合差异,将有助于地层花粉数据的古生态学解译。

(3)研究区内一些常见植物,如香樟、金佛山方竹、杜鹃花以及喀斯特地区大量种植的玉米等的花粉含量很低,甚至缺失,这与其花粉易破碎不易保存、没有开花、花粉产量低及传播距离近等有关。银杉作为金佛山特有的孑遗裸子植物,在研究区内,其花粉含量远低于同属松科的松属花粉,说明其花粉不利于远距离传播。与银杉花粉类似,同样依靠风媒传播的柳杉属花粉也仅仅出现在柳杉林样品中,而在其附近却很少发现,甚至缺失,这可能与柳杉属花粉在喀斯特地区雨热同期的气候条件下易于氧化分解有关。当然,要想厘清银杉和柳杉属花粉的传播距离、保存状况及其现代分布扩散规律,还需要进一步开展系统的花粉现代过程研究。

(4)喀斯特槽谷区和石漠化区表土孢粉组合中芒萁属、凤尾蕨属、肾蕨属和藜科等喜钙性、旱生性、石生性植物的孢粉含量较高,且随着土地利用强度的增加,表土孢粉组合中乔灌木花粉含量和种类越少,草本和蕨

类植物孢粉含量越多,均以耕地杂草为主。由此可见,土地利用方式的变化是对喀斯特石漠化区次生植被及其表土孢粉组合的主要影响因素。

(5)研究区表土孢粉组合差别明显,但与其相应的实际植被情况大致相同,基本反映了重庆喀斯特地区现代植被的基本状况。由于采样点数量与分布的限制,本研究对重庆喀斯特地区4种主要不同地貌单元的现代孢粉组合进行了分析。未来还需要开展更系统的花粉现代过程研究,如放置现代花粉捕获器等,以期对重庆喀斯特地区现代孢粉特征、不同花粉类型的分布规律及其主控因素获得进一步的认识。

致谢:感谢夏威夷大学 Dr. Zuojun Yu 对写作的帮助;感谢南宁师范大学省部级重点实验室创新基地大学生创新实践训练计划项目对本研究的支持。

参考文献 (References):

- [1] 袁道先. 全球岩溶生态系统对比: 科学目标和执行计划. 地球科学进展, 2001, 16(4): 461-466.
- [2] 蒋忠诚, 罗为群, 童立强, 程洋, 杨奇勇, 吴泽燕, 梁建宏. 21 世纪西南岩溶石漠化演变特点及影响因素. 中国岩溶, 2016, 35(5): 461-468.
- [3] 袁道先. 我国岩溶资源环境领域的创新问题. 中国岩溶, 2015, 34(2): 98-100.
- [4] Jiang Z C, Lian Y Q, Qin X Q. Rocky desertification in Southwest China: impacts, causes, and restoration. Earth-Science Reviews, 2014, 132: 1-12.
- [5] Wang S J, Liu Q M, Zhang D F. Karst rocky desertification in Southwestern China: geomorphology, landuse, impact and rehabilitation. Land Degradation & Development, 2004, 15(2): 115-121.
- [6] 王世杰. 喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨. 中国岩溶, 2002, 21(2): 101-105.
- [7] 陈洪松, 岳跃民, 王克林. 西南喀斯特地区石漠化综合治理: 成效、问题与对策. 中国岩溶, 2018, 37(1): 37-42.
- [8] Cao J H, Yuan D X, Tong L Q, Mallik A, Yang H, Huang F. An overview of karst ecosystem in Southwest China: current state and future management. Journal of Resources and Ecology, 2015, 6(4): 247-256.
- [9] 蒋忠诚. 岩溶动力系统中的元素迁移. 地理学报, 1999, 54(5): 438-444.
- [10] 刘润, 张朝晖, 申家琛, 王智慧. 岩溶洞穴苔藓群落特征及其对重金属污染的指示意义: 以贵州织金洞为例. 生物多样性, 2018, 26(12): 1277-1288.
- [11] 吕玉香, 胡伟, 杨琰. 岩溶关键带水循环过程研究进展. 水科学进展, 2019, 30(1): 123-138.
- [12] 熊康宁, 李晋, 龙明忠. 典型喀斯特石漠化治理区水土流失特征与关键问题. 地理学报, 2012, 67(7): 878-888.
- [13] 陈莉, 宋同清, 王华, 曾馥平, 彭晚霞, 杜虎, 苏樑. 木论喀斯特常绿阔叶混交林土壤细菌多样性及其最优采样数. 生态学报, 2019, 39(9): 3287-3296.
- [14] 金章利, 刘高鹏, 周明涛, 许文年. 喀斯特山地草地群落多样性海拔特征及土壤理化性质特征. 生态环境学报, 2019, 28(4): 661-668.
- [15] 杨庆媛, 毕国华, 陈展图, 曾黎, 杨人豪. 喀斯特生态脆弱区休耕地的空间配置研究——以贵州省晴隆县为例. 地理学报, 2018, 73(11): 2250-2266.
- [16] 宋贤威, 高扬, 温学发, 郭大立, 于贵瑞, 何念鹏, 张进忠. 中国喀斯特关键带岩石风化碳汇评估及其生态服务功能. 地理学报, 2016, 71(11): 1926-1938.
- [17] 钱庆欢, 王世杰, 白晓永, 周德全, 田义超, 李琴, 吴路华, 肖建勇, 曾成, 陈飞. 基于允许流失量和正负地形源汇理论的喀斯特关键带土壤侵蚀研究. 地理学报, 2018, 73(11): 2135-2149.
- [18] 白晓永, 王世杰, 陈起伟, 程安云, 倪雪波. 贵州土地石漠化类型时空演变过程及其评价. 地理学报, 2009, 64(5): 609-618.
- [19] 李瑞玲, 王世杰, 周德全, 张殿发, 李凤全, 周忠发, 熊康宁. 贵州岩溶地区岩性与土地石漠化的相关分析. 地理学报, 2003, 58(2): 314-320.
- [20] 曹建华, 袁道先, 潘根兴. 岩溶生态系统中的土壤. 地球科学进展, 2003, 18(1): 37-44.
- [21] 何兴潼, 袁淑杰, 潘妮, 谷晓平, 于飞. 贵州喀斯特区域土壤水分时空分布特征. 中国岩溶, 2018, 37(4): 562-574.
- [22] 李阳兵, 白晓永, 周国富, 兰安军, 龙健, 安裕伦, 梅再美. 中国典型石漠化地区土地利用与石漠化的关系. 地理学报, 2006, 61(6): 624-632.
- [23] 郝秀东, 欧阳绪红, 谢世友, 罗伦德. 重庆金佛山自然保护区现代植被表土孢粉的初步研究. 古生物学报, 2011, 50(2): 230-239.
- [24] 郝秀东, 欧阳绪红, 谢世友, 魏兴萍, 罗伦德. 喀斯特山地典型植被恢复过程中表土孢粉与植被的关系. 生态学报, 2011, 31(10): 2678-2686.

- [25] 郝秀东, 欧阳绪红, 谢世友. 重庆南平喀斯特石漠化区不同土地利用方式下的表土孢粉组合特征. 土壤学报, 2011, 48(6): 1265-1273.
- [26] 郝秀东, 欧阳绪红, 谢世友. 岩溶山区和石漠化区表土孢粉组合的差异性——以重庆市南川区为例. 生态学报, 2011, 31(18): 5235-5245.
- [27] 王开发, 王宪曾. 孢粉学概论. 北京: 北京大学出版社, 1983: 1-4.
- [28] 宋长青, 孙湘君. 花粉-气候因子转换函数建立及其对古气候因子定量重建. 植物学报, 1997, 39(6): 554-560.
- [29] Nakagawa T, Kitagawa H, Yasuda Y, Tarasov P E, Nishida K, Gotanda K, Sawai Y, Yangtze River Civilization Program Members. Asynchronous climate changes in the North Atlantic and Japan during the last termination. Science, 2003, 299(5607): 688-691.
- [30] Zhao Y, Yu Z C, Zhao W W. Holocene vegetation and climate histories in the eastern Tibetan Plateau: controls by insolation-driven temperature or monsoon-derived precipitation changes? Quaternary Science Reviews, 2011, 30(9/10): 1173-1184.
- [31] Zheng Z, Wei J H, Huang K Y, Xu Q H, Lu H Y, Tarasov P, Luo C X, Beaudouin C, Deng Y, Pan A D, Zheng Y W, Luo Y L, Nakagawa T, Li C H, Yang S X, Peng H H, Cheddadi R. East Asian pollen database: Modern pollen distribution and its quantitative relationship with vegetation and climate. Journal of Biogeography, 2014, 41(10): 1819-1832.
- [32] Xu Q H, Cao X Y, Tian F, Zhang S R, Li Y C, Li M Y, Liu Y L, Liang J. Relative pollen productivities of typical steppe species in northern China and their potential in past vegetation reconstruction. Science China Earth Sciences, 2014, 57(6): 1254-1266.
- [33] Xu Q H, Li Y C, Yang X L, Zheng Z H. Quantitative relationship between pollen and vegetation in northern China. Science in China Series D: Earth Sciences, 2007, 50(4): 582-599.
- [34] 许清海, 李曼玥, 张生瑞, 张娅红, 张攀攀, 卢静瑶. 中国第四纪花粉现代过程: 进展与问题. 中国科学: 地球科学, 2015, 45(11): 1661-1682.
- [35] 李月丛, 许清海, 王学丽, 曹现勇, 阳小兰. 中国北方森林群落现代花粉与植被和气候的关系. 地理学报, 2008, 63(9): 945-957.
- [36] 张文超, 李春海, 鹿化煜, 田先华, 张红艳, 雷暄, 唐领余. 南洛河流域洛南盆地地表土孢粉与植被的关系. 地理学报, 2013, 68(3): 398-413.
- [37] 方任吉, 刘玉成, 钟章成, 潘体常, 许鸿鹄. 南川金佛山植被调查报告. 西南师范学院学报: 自然科学版, 1982, (2): 82-100.
- [38] Brown C A. Palynological Techniques. Texas: American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, 2008.
- [39] 王伏雄, 钱南芬, 张玉龙, 杨惠秋. 中国植物花粉形态(第二版). 北京: 科学出版社, 1995.
- [40] 中国科学院北京植物研究所古植物研究室孢粉组. 中国蕨类植物孢子形态. 北京: 科学出版社, 1976.
- [41] 舒军武, 王伟铭, 陈炜. 太湖平原西北部全新世以来植被与环境变化. 微体古生物学报, 2007, 24(2): 210-221.
- [42] 羊向东, 王苏民, 童国榜. 江苏固城湖区一万多年来的孢粉植物群及古季风气候变迁. 植物学报, 1996, 38(7): 576-581.
- [43] Joly C, Barillé L, Barreau M, Mancheron A, Visset L. Grain and annulus diameter as criteria for distinguishing pollen grains of cereals from wild grasses. Review of Palaeobotany and Palynology, 2007, 146(1/4): 221-233.
- [44] Chaturvedi M, Datta K, Nair P K K. Pollen morphology of *Oryza* (Poaceae). Grana, 1998, 37(2): 79-86.
- [45] 吴征镒. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980.
- [46] 许清海, 曹现勇, Tian F, 张生瑞, 李月丛, 李曼玥, 李洁, 刘耀亮, 梁剑. 中国北方典型草原区花粉产量及其定量重建古植被的作用. 中国科学: 地球科学, 2013, 43(12): 2016-2028.
- [47] Sun X J, Song C Q, Wang F Y, Sun M R. Vegetation history of the Loess Plateau of China during the last 100,000 years based on pollen data. Quaternary International, 1997, 37: 25-36.
- [48] Crowder A A, Cuddy D G. Pollen in a small river basin: Wilton Creek, Ontario//Birks H J D, West R G, eds. Quaternary Plant Ecology. Oxford: Blackwell, 1973: 61-78.
- [49] Räsänen S, Hicks S, Odgaard B V. Pollen deposition in mosses and in a modified 'Tauber trap' from Hailuoto, Finland: what exactly do the mosses record? Review of Palaeobotany and Palynology, 2004, 129(1/2): 103-116.
- [50] Jacobson Jr G L, Bradshaw R H W. The selection of sites for paleovegetational studies. Quaternary Research, 1981, 16(1): 80-96.
- [51] Prentice I C. Pollen representation, source area, and basin size: toward a unified theory of pollen analysis. Quaternary Research, 1985, 23(1): 76-86.
- [52] 伍婧, 马玉贞, 桑艳礼, 蒙红卫, 胡彩莉. 宁夏大罗山表土样品中主要花粉类型的代表性. 古生物学报, 2013, 52(1): 57-67.