

分类号 P
UDC

密级
编号 133912

中国科学院地球化学研究所

博士后研究工作报告

中亚黄土孢粉记录的全新世气候变化及其与沿海地区的对比

姓名： 黄昌庆

工作完成日期： 2014年1月—2016年12月

报告提交日期： 2016年11月

中国科学院地球化学研究所
2016年11月

中亚黄土孢粉记录的全新世气候变化及其与沿海地区的对比

Climate change of Holocene loess in Central Asia and its palynological records, compare it with record in coastal areas

博 士 后 姓 名： 黄 昌 庆

流动站（一级学科）：

中国科学院地球化学研究所

环境科学与工程

专 业（二级学科）： 环境变化

研究工作起始时间 2014 年 1 月 1 日

研究工作期满时间 2016 年 12 月 30 日

中国科学院地球化学研究所 2016 年 12 月

研究报告原创性声明

本人郑重声明：本人提交的博士后出站研究报告《中亚黄土孢粉记录的全新世气候变化及其与沿海地区的对比》，是在导师的指导下，由本人独立进行的研究工作及取得的研究成果。论文中引用他人已经发表或出版过的研究成果，文中已加了特别表注。对本研究及学位论文撰写曾做出贡献的个人和集体在文中作了明确说明，并表示衷心感谢。

本声明的法律后果由本人承担。

研究报告作者（签名）：

签字日期： 年 月 日

导师（签名）：

签字日期： 年 月 日

中亚黄土孢粉记录的全新世气候变化及其与沿海地区的对比

内 容 摘 要

极端气候事件频繁出现，人类迫切希望理解地球气候系统的行为规律，预测未来气候的变化，为了更好地理解地球气候系统的行为规律，我们需要了解地质历史时期中的气候和环境变化。过去几十年，利用沉积地层中的花粉组合重建过去植被与环境演化历史的水平提高。为了更好地理解中亚干旱区的古气候古环境变化过程，对中国新疆省博乐的一个黄土地层进行孢粉分析。

根据博乐剖面孢粉组合，重建当地植被与气候演变序列：11193-10693 yr B. P.，主要为蒿-藜草原植被，气候偏湿润；10693-8422 yr B. P.，主要为藜-蒿草原植被，干旱程度增加；8422-6483 yr B. P.，主要为蒿-藜草原植被，干旱程度减小；6483-5000 yr B. P.，主要为藜-蒿草原植被，环境干旱化。

尼加拉瓜东部沿海的FBM1钻孔孢粉组合显示了5400年来当地的飓风简况：5400 - 4900 yr B. P.，飓风事件较少；4900 - 2800 yr B. P.，当时环境可能是红树林支配的泥滩，不易指示飓风的影响；2800 - 800 yr B. P.，飓风事件少；800 - 0 yr B. P.，孢粉组合的剧烈变化指示环境变化剧烈，飓风事件多。

当地孢粉组合基本可以反映地方性植被类型。松属花粉百分比含量或者A/C值并不能简单地反映环境的湿润程度。博乐剖面孢粉组合和FBM1钻孔孢粉组合进行对比，没有发现遥相关关系。

关键词：中亚，环境，孢粉，博乐

Abstract

Extreme climate events occur frequently, the human behavior is eager to understanding the earth's climate system, prediction of future climate change. In order to better understand the behavior of the earth's climate system, we need to understand the geological history of the climate and environment change. Over the past few decades, scientists used pollen assemblages in sedimentary strata to reconstruct history of vegetation and environmental evolution. For better understanding of paleoenvironmental process in arid areas of Central Asia, we made pollen analysis of loess strata in Bole, Xinjiang province, China. According to Bole pollen assemblages, local vegetation and climate history are reconstructed: 11193-10693 yr B.P., main vegetation was Artemisia-Chenopodiaceae grassland, the climate was moist; 10693-8422 yr B.P., main vegetation was Chenopodiaceae- Artemisia grassland, drought increased; 8422-6483 yr B.P., main vegetation was Artemisia-Chenopodiaceae grassland, drought reduced; 6483-5000 yr B.P., main vegetation was Chenopodiaceae- Artemisia grassland, arid environment. FBM1 core pollen assemblage shows in the eastern coast of Nicaragua. The local hurricane history are: 0 - 800 yr B.P.,—active period; 800 - 2800 yr B.P.,—quiet period; 2800 - 4900 yr B.P.,—non-recording (submerged); 4900 - 5400 yr B.P.,—quiet period. Local assemblages can basically reflect local vegetation types. The pine pollen percentage content or A/C value could not simply reflect the degree of environmental moisture. compared pollen assemblages between Bole section and FBM1 core, no correlation was found.

Keywords: Central Asia, environment, pollen, Bole

目录

第一章 研究背景	7
1.1 绪论	7
1.2 中亚干旱区古环境研究.....	10
1.3 选题依据及研究意义	13
第二章 研究区概况	17
第三章 沉积地层与年代	19
3.1 博乐剖面与则克台剖面.....	19
3.2 巴汗淖(BHN)湖芯钻孔	21
第四章 孢粉分析	23
4.1 孢粉鉴定与处理方法	23
4.2 博乐剖面孢粉图谱及分析.....	27
4.3 FBM1 钻孔孢粉图谱及分析	41
第五章 孢粉对比	49
5.1 松属花粉的环境指示意义.....	49
5.2 与则克台对比	52
5.3 其它对比	53
第六章 结论与展望	55
主要参考文献	57
致 谢	72

第一章 研究背景

1.1 绪论

根据2011至2014年发表在《美国气象学会公报》的79项研究报告，半数以上的研究发现人类活动导致的气候变化助长了极端天气气候事件的发生，一些研究发现极端高温事件发生的概率大幅增加。

今年以来全球多个地区出现了极端高温事件：5月，印度遭受高温、干旱袭击，北部城市珀洛迪刷新60年来最高气温纪录；6月以来，美国西海岸数十个城市遭受历年来罕见高温，内华达塞拉利昂因高温与闪电发生山火。7月20日至24日，我国江南、四川盆地东部、华南、江淮、江汉等地相继出现大范围持续高温天气，高温日数普遍有2至4天，高温面积呈增加趋势。7月24日，有1040个县市日最高气温超过35℃，湖北、浙江、湖南有9个县市最高气温超过40℃。此次过程中，35℃以上和38℃以上高温影响面积分别为188万平方公里和28.9万平方公里。2016年11月14日，世界气象组织（WMO）发布临时声明：2015年至2016年在强烈厄尔尼诺事件影响下，多个月份的温度出现大幅增长，2016年1月至9月全球温度高出1961年至1990年标准参照期平均温度约0.88℃，2016年将成为有记录以来最热年。

全球主要温室气体浓度继续上升，达到新纪录；北极海冰一直处于较低水平，尤其是在2016年年初与10月重新结冰期，格陵兰岛冰盖出现了较早的明显融化；厄尔尼诺事件使海洋温度升高，造成珊瑚礁白化与海平面上升。与升温伴随的是全球极端天气气候事件频发，在全球各地造成重大损失。例

如，2016年飓风“马修”肆虐海地，引发该国自2010年强烈地震爆发后最严重的人道主义危机。在俄罗斯、阿拉斯加州和加拿大西北部的其他北极与亚北极区域，温度高出平均水平3℃。

其实早在2007年，联合国政府间气候变化委员会(IPCC)发布的第四次评估报告就指出：过去的50年中，强降水以及高温热浪等极端天气气候事件，呈现出不断增多增强的趋势，预计以后这种极端事件的出现会更加频繁。

减缓气候变化、防止全球变暖已成为国际社会的共识，温室气体减排对经济发展产生重要影响，它涉及国与国之间责任与义务的界定和利益关系的调整。政府间合作组织召开多次会议商讨如何应对气候变化，一致认为温室气体导致的全球气候变暖是重大威胁，应该减少温室气体的排放。在国际碳排放及限制的问题上，目前世界各国主要有三种立场：欧盟、美国为首的“伞形”国家集团(包括日本、加拿大、澳大利亚、新西兰、俄罗斯等)和发展中国家(通常为77国集团加中国)。2010年的坎昆会议取得一定成果，但在减缓等核心议题上分歧大于共识，南北僵持格局依旧。关键问题在于美国减排目标的可比性以及减排目标的法律化。发展低碳经济，是我国应对气候变化、转变增长方式的必然选择，是资源节约型和环境友好型社会、气候变化移民是国际新兴研究领域，虽然气候变化会影响人口迁移这个论断已经得到了多数人认可，但国际上对气候因素引致人口迁移的直接关联性和重要程度一直存在争议。目前的研究较多地表现为定性说明，相关的实证比较琐碎和零散，也因此国际学者呼吁需要更多的、大量的实证研究来支持或反对相关的论断。

气候异常变化使得人类更迫切地希望理解未来气候系统的变化，科学家们建立气候模型来预测未来气候，气候预测的发展将有助于农业、水资源管理、健康与能源等重点领域更好地适应未来，未来将有更多基于影响的天气预报与预警系统以保护公众生命安全。世界气象组织强调，尤其需要增强发展中国家的灾害预警和气候服务能力。为了更准确地预测，人们需要正确理解地球气候系统的行为规律。现代的气候变化规律仅是漫长地质历史时期气

候变化历史中短暂的一幕，为了更好地理解地球气候系统的行为规律，我们需要了解地质历史时期中的气候和环境变化。

对过去气候变化和环境变化研究中，人们更为关注第四纪气候和环境变化，因为第四纪距离现在最近，第四纪气候对现在及未来的气候更具有参考性。第四纪气候变化的特征之一就是经历了多次的冰期-间冰期旋回。米兰科维奇理论指出，第四纪冰期-间冰期旋回是由地球轨道参数(偏心率、地轴倾斜、岁差)周期性变化所导致的北半球高纬地区接受的夏季太阳辐射变化导致的，主要有40万年、10万、4.1万、2.3-1.9万年的周期或者准周期，深海钻孔氧同位素比值的频谱分析检验了这些准周期确实存在。过去气候变化不仅存在周期性，也存在不稳定的突发事件，在很多地区的气候记录中存在短暂、快速的气候颤动，例如Heinrich事件(Heinrich et al., 1988)。

全新世是第四纪最晚的一次冰川消融期，又称冰后期，其年代大约从11.5 kyr BP至现今，对应于深海氧同位素1阶段。格陵兰冰芯 (Andersen et al., 2004; Dansgaard et al., 1993; Grootes et al., 1993) 记录显示全新世气候环境整体稳定。Mayewski 等人(2004)通过对全球大约50个研究记录综合分析发现，全新世期间有6次全球性的快速气候变化，即9.0-8.0, 6.0-5.0, 4.2-3.8, 3.5-2.5, 1.2-1.0和0.6-0.15 cal kyr BP，而且这些快速的气候变化大多表现为高纬度地区气候变冷、热带地区变干。Thornalley (2009)在北大西洋也发现百年和千年尺度的快速事件。在亚洲季风影响区的全新世环境变化研究中，洞穴石笋记录(Dong et al., 2010; Hu et al., 2008; Wang et al., 2005; Wang et al., 2008b) 显示：在新仙女木事件结束后季风快速增强，在早-中全新世季风最强（大约在9.5-6.5 cal kyr BP 期间降水达到最大），而在晚全新世季风减弱。亚洲季风及其边缘区大量古气候演化序列也记录到类似的变化 (Lu et al., 2011; Wang et al., 2007; Hong et al., 2009; Zhou et al., 2010) 。与北大西洋以及亚洲季风影响区相比，在降水稀少、生态环境脆弱的广大亚洲中部干旱区，这方面研究相对薄弱，且大部分高分辨率的记录主要集中在中-晚全新世(Huang et al., 2009; Liu et al., 2008; Xue and Zhong, 2010; Zhang et al., 2010) 。要全面理解全新世气候变化的时空

规律和机制，还需要在不同的地区获得年代和代用指标意义可靠的高分辨率的气候记录，而亚洲中部干旱区的气候记录相对薄弱的。Kam-biu Liu和 Terrence Allen McCloskey团队在热带美洲做了大量的研究，发现了飓风的一些周期性规律及原因(Liu K-b, 2000; Liu K-b, 2004; Terrence Allen McCloskey,2009; Terrence Allen McCloskey and Kam-biu Liu, 2013)。

科学家研究古气候环境的各种测年方法和各种研究手段也不断完善，孢粉产量大、体积小、外壁坚固，在地层中容易以化石的形式保存，可以用来获取古植被及古环境信息，是研究过去环境变化的一种可靠手段。以孢粉开展的古气候研究也得到广泛的发展和应用，例如：巢湖(Wang et al., 2008a); 青海湖(沈吉等, 2004)、达连海(Cheng et al., 2010)、错那(Shen et al., 2008; Tang et al., 2009)、沉错(Lu et al., 2011)、克鲁克湖(Zhao et al., 2007)、苏干湖(Zhang et al.,2010)、博斯腾湖(Huang et al., 2009)、乌伦古湖(肖霞云等, 2006)、天池(Zhao et al., 2010)、岱海湖(Xu et al.,2010)、巴彦查干湖(Jiang et al., 2006)、Ugii Nuur 湖(Wang et al., 2011)、贝加尔湖(Tarasov et al.,2007)、Kotokel 湖(Tarasov et al., 2009)等等。Kam-biu Liu团队在热带美洲应用孢粉方法做了大量的古环境研究(Liu K-b, 2000; T. A. McCloskey and Kam-biu Liu, 2013)。冯兆东团队则在中亚干旱区和黄土高原应用孢粉方法做了大量的古环境研究(Feng, 2004; Feng, 2011)。此外，孢粉学界开展了关于表土孢粉的大量研究工作 (Cour et al., 1999; Li et al., 2004; Liu et al., 2008; Lu et al., 2011; Luo et al., 2009; Ma et al., 2008; Wei et al., 2010; Xu et al., 2009; Xu et al., 2007; 郑卓等, 2008)。

1.2 中亚干旱区古环境研究

中国新疆西北部和哈萨克斯坦东部所在的中亚干旱区(图 1.1)是西风气候系统和东亚季风系统相互的过渡地区。无论是大西洋来的西风还是太平洋来的季风，到达中亚干旱区后，都已经非常微弱，带来的降水很有限，因

而广泛分布了荒漠和与之相关的黄土沉积，连续的记录了第四纪以来的气候变化。伊犁河谷地区却没有明显的雨季，可能夏季降水的东亚季风系统和冬季降水的西风带系统在此混合。

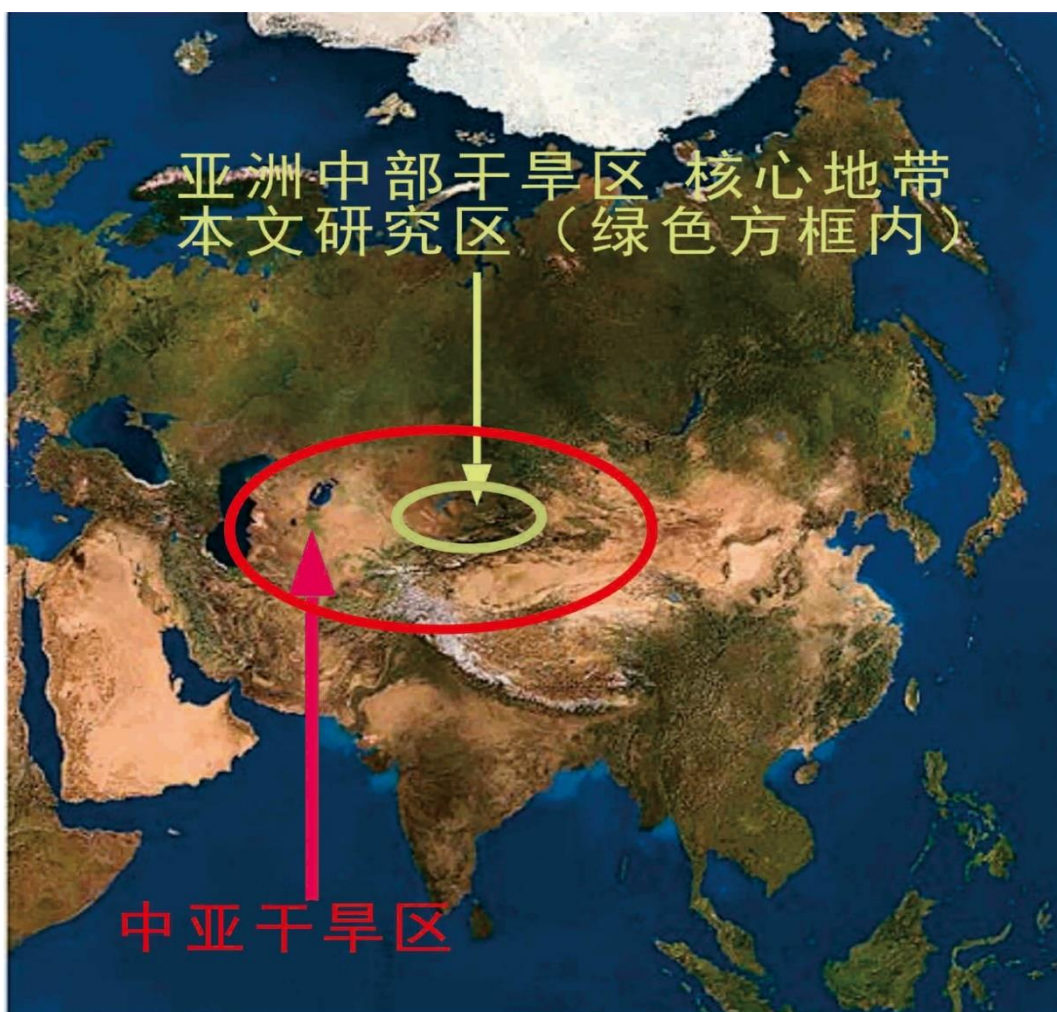


图 1.1 中亚干旱区位置图

从上个世纪起科学家对中亚干旱区的地质记录进行探索，哈萨克斯坦的 OZERKI 和 PASHENNOE 湖泊的记录（图 1.2 上）显示全新世气候转为湿润 (Aubekerov and Nigmatova, 2003)，新疆西北部的几个湖泊记录（图 1.2 下）显示全新世气候和东亚季风区有类似的变化过程（吴敬禄，1995；林瑞芬等，1996；Rhodes et al., 1996 蒋庆丰等，2006；肖霞云等，2006），但是在这些较早期的记录中年代数据都比较少。

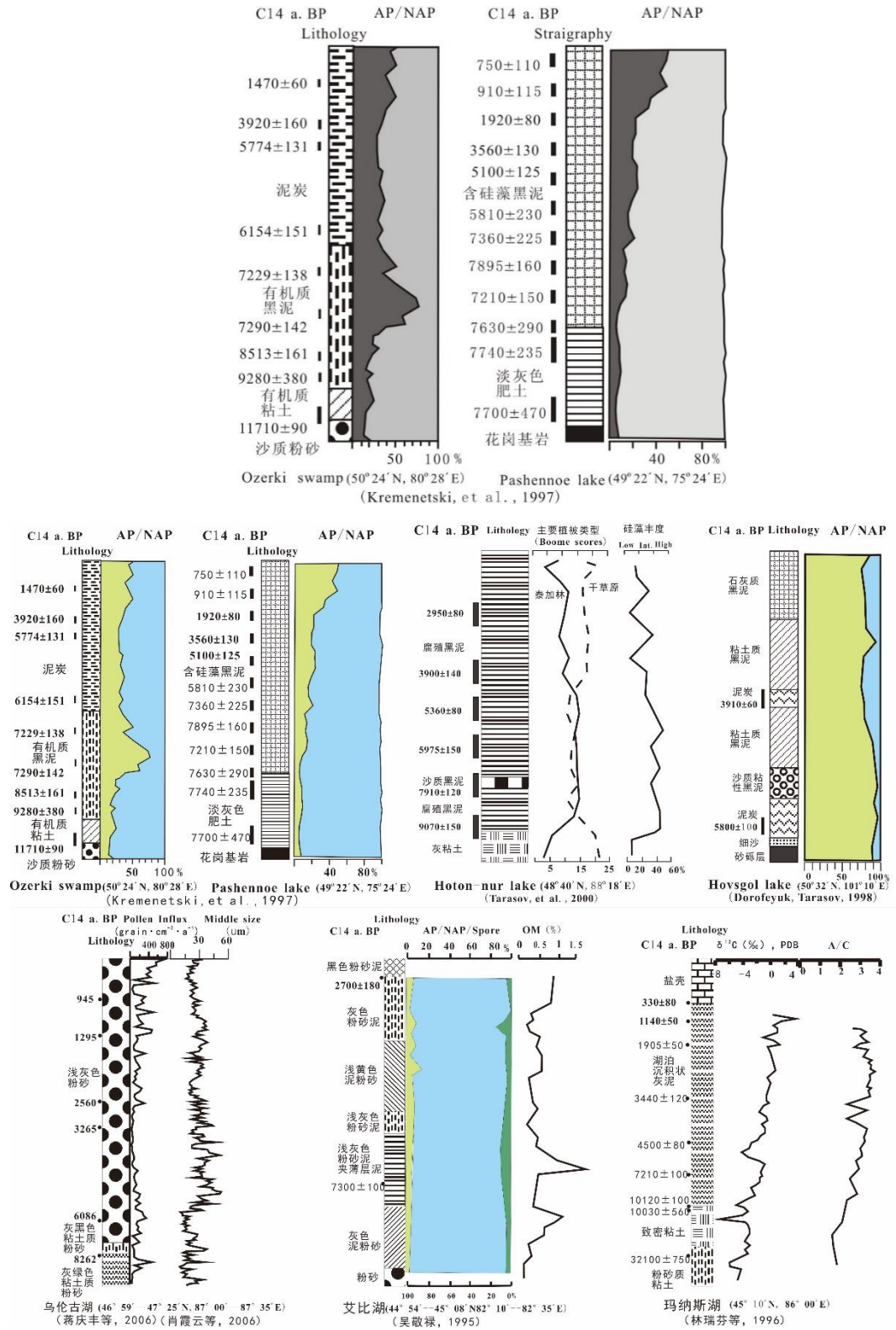


图 1.2 中亚湖泊记录

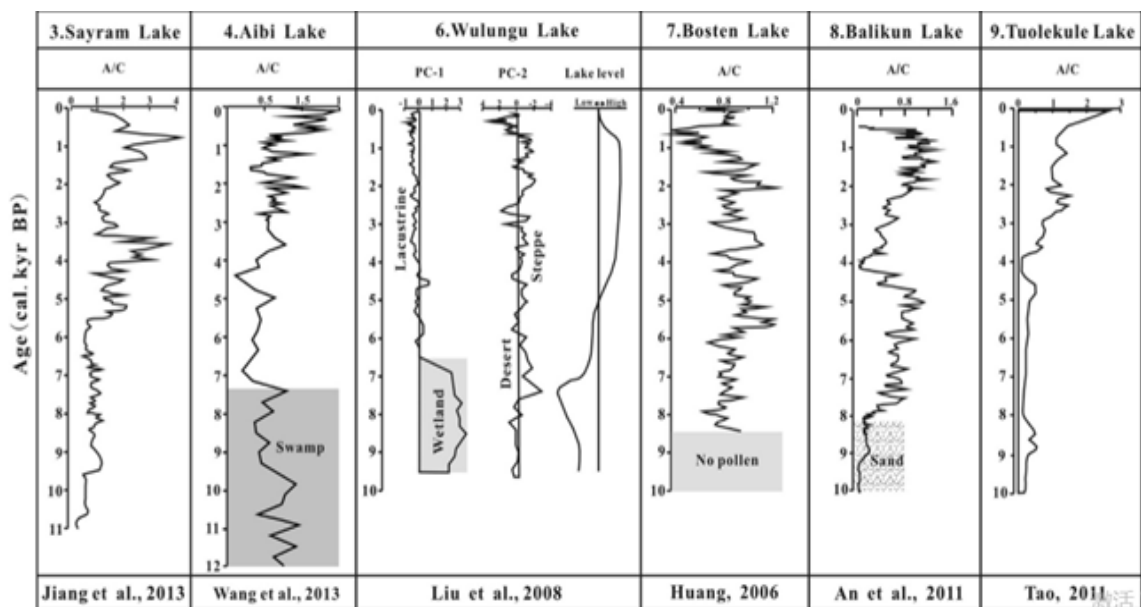


图 1.3 新疆和蒙古湖泊记录

最近几年，中国的科学家在新疆和蒙古的一些湖泊展开了较为精确定年的环境变化研究（图 1.3），似乎一致地显示了全新世以来，中亚干旱区湿润程度增加了。

叶玮运用多指标对则克台剖面古环境进行研究(叶玮等, 2001), 近几年, 根据地球化学、磁学指标和地球物理指标, 则克台剖面再次被仔细地研究 (Jia et al., 2011; Feng et al., 2011; 夏敦胜等, 2010; 宋友桂等, 2010)。冯兆东团队对中亚地区过去 5 万年以来古气候变化历史进行了全面的研究 (Feng et al., 2011; 黄昌庆, 2012; 冉敏, 2012)。

1.3 选题依据及研究意义

选择在中亚干旱区利用孢粉研究古环境主要有几个原因：

- 1) 黄土具有沉积体系相对稳定、沉积速率相对均匀且沉积记录相对完

整等特点，是其它陆相沉积所不能同时具备的（夏敦胜等，2010）。黄土记录有助于理解中国季风演化、西北干旱区环境形成演化起到巨大的推动作用。本次研究希望提供新的黄土古环境记录，帮助理解中亚地区的古气候古环境变化。

- 2) 中亚地区各种记录对晚全新世气候反映并不一致，主要有2种观点，一种是早全新世湿润晚全新世干旱（Bernd W. et al.,2006;Jiang et al.,2008; Ricketts et al.,2001;Alexander A P. et al.,2007;Jorg G. et al.,2000; T.A. Blyakharchuk et al.,2007;Bush,2005）；另一种是早全新世干旱晚全新世湿润（Huang et al.,2009; Liu et al.,2008; 陶士臣等,2010; Natalia R. et al., 2009; Sarah J F. et al., 2003）。对于末次冰期以来中亚地区环境变化的机制理解也不够完善。李吉均(1990)认为，新疆地区晚更新世以来的环境变化服从西风带的一般规律，冰期与雨期同步；即冰川前进与气候冷湿、湖面上升时期相对应；冰期为冷湿期，间冰期为暖干期。董光荣等通过对塔克拉玛干沙漠及周、黄土研究提出，在塔里木盆地第四纪以来气候变化中的水热组合为“冷干-暖干”；而文启忠(1990)认为可能为“冷干-暖湿”的水热组合
- 3) 北半球中-高纬度地区的气候似乎在4000年前左右发生了剧烈的变化（Ruddiman, 2008）。来自于西伯利亚（Kremenetski et al., 1998; MacDonald et al., 2000; Pitkanen et al., 2002）、北欧（Allen et al., 2007）以及中国北方的许多资料（例如 Feng et al., 2006; 蒋庆丰等, 2006; Liu et al., 2002; Xiao et al., 2004）都印证了4000年前左右发生的气候转型。过去文明是如何响应贯穿中全新世千年尺度气候变化的？将文明变迁的考古记录放在精确的全新世古气候记录背景下，就有可能发掘复杂社会对剧烈气候变化的响应。公元前8000年到3000年是文明变迁深远的时期：秘鲁建起了第一座神庙，埃及建起了第一座金字塔，农业社会在世界范围广泛发展，东方文明的繁荣和瓦解，亚洲草原帝国跌宕起伏和长

途迁徙的历史记录了不同游牧民族对草原资源的追逐，亚洲草原帝国的扩张和迁移给周边的农业文明留下了深刻到与主体文化无法分解的烙印。中亚古气候史可以为亚洲草原历史提供气候依据，还可能为应对现代中亚地区人为加剧的沙漠化问题提供预测依据。

- 4) 重建中亚和东亚(包括黄土和沙漠的干旱半干旱地区)风尘历史会加深人们对北太平洋和格陵兰冰芯风尘记录的理解(Rea and Hovan., 1995 ; Biscaye et al., 1997), 有助于理解这两个气候系统(东亚季风和西风带)过渡地带的历史, 有助于理解第四纪以来北大西洋涛动 (NAO) 和北太平洋北美涛动(PNA)之间的遥相关过程, 从而加深人们对陆地—海洋—大气耦合反馈机制的理解(Rind and Overpeck,1993)。

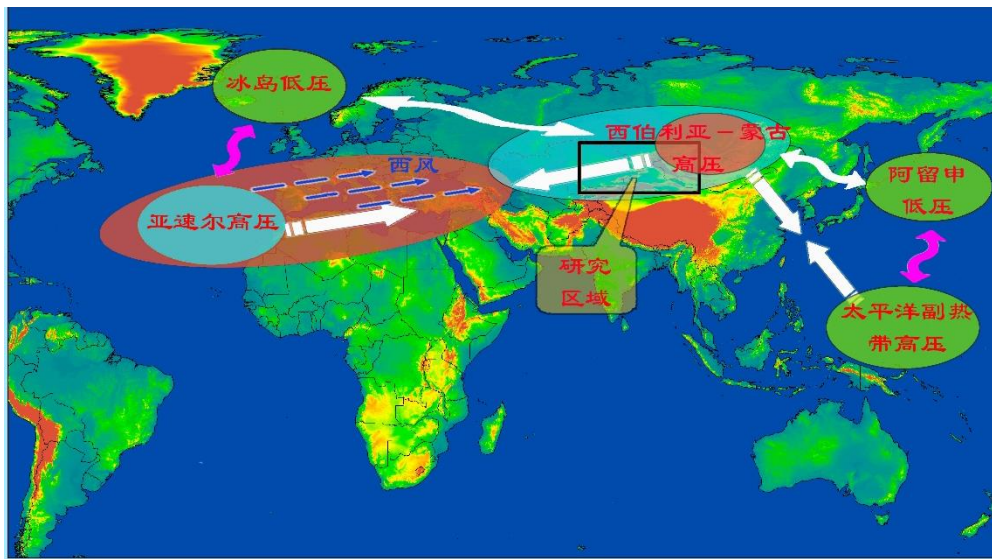


图 1.4 NAO 和 PNA 之间的遥相关

- 5) 中亚干旱区孢粉的研究包括孢粉现代过程的研究不充分, 影响孢粉在植被和气候重建中的解释。我以前一直以孢粉来研究古环境, 延续博士阶段以来的工作对我更为合适。

为了更好理解中亚的古气候古环境变化过程, 本文试图对中国新疆省博

乐的一个黄土地层进行孢粉分析，希望为中亚的全新世研究提供更多的气候记录，为气候模型的支撑提供材料和边界条件提供支持，各类气候模型的改善将增强科学家预测未来气候变化的能力。同时探讨孢粉在重建古气候古环境方面的应用方法。另外选取北美洲加勒比海尼加拉瓜的一个钻孔进行孢粉分析，试图寻找全球气候变化的遥相关关系。

第二章 研究区概况

如前所述，本文的研究区主要为中亚干旱区，主要包括40-50°N、70-90°E的广大地区，中心地区为新疆西部。天山山脉沿东-西走向分布研究区南部，其它地方为盆地。研究区受西风影响较大，东亚南亚的夏季风基本不能到达本区。我们的采样点博乐剖面位于研究区中部（图2.1）。

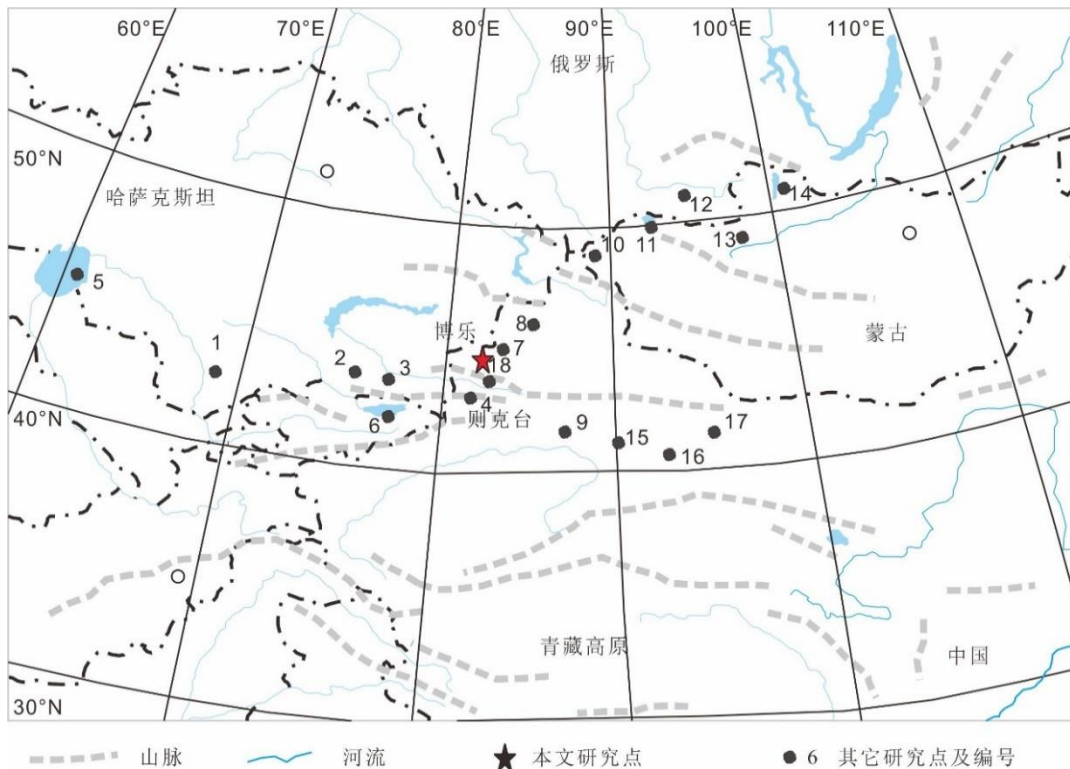


图2.1 研究点地理位置

新疆的植被分布主要有高山地区的针叶林、山麓和河谷地区的草原、大面积的荒漠或者无植被地带。采样点博乐剖面属于大陆性干旱气候，春季气温冷暖多变，夏季高温，气候炎热，伴有干热风，秋季气爽，冬季长而寒

冷，年均气温5.6℃，年均降水200mm左右，地带性植被为温带禾本草原（图2.2）。

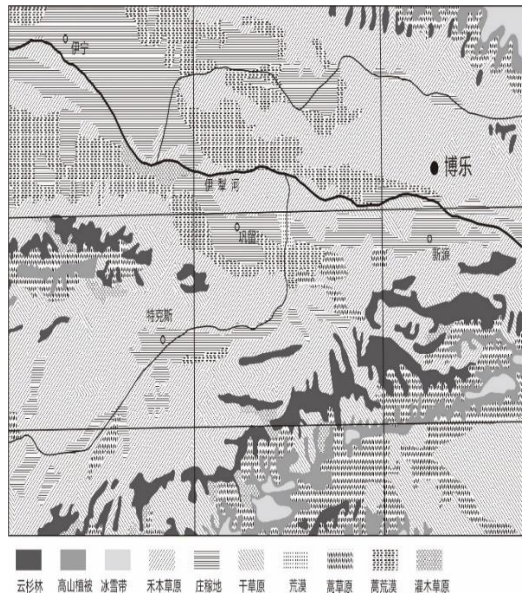


图2.2 博乐附近植被图



图2.3 尼加拉瓜地理位置

尼加拉瓜位于中美洲地区中部（图2.3），北接洪都拉斯，南连哥斯达黎加，东临加勒比海，西濒太平洋，陆地面积约13万平方公里。西部为沿岸低地，北中部为高地，东部为海岸平原，多丛林沼泽，地势低平。平原地区高温多雨，属热带海洋性气候；西部沿岸低地，降水明显少于东部，且有干、湿季之分，属热带草原气候；中部高地年平均气温18℃，年降水量1500-2500毫米，5-12月为雨季。

第三章 沉积地层与年代

3.1 博乐剖面与则克台剖面

在天山伊犁河谷两侧均可以发现零星的超过 30m 的黄土覆盖层，则克台剖面就位于中国新疆的伊犁河上游，厚 2250cm。该剖面最初发现于 1995 年，2005 年该处建造了砖场。该黄土-古土壤沉积地层可分为五层（图 3.1）。在剖面上部 0-14m 段，利用 12 个年代数据进行线性回归，得到 0-14m 的深度-年代模式，分析结果显示年代与深度之间的相关性较高，相关系数达到了 0.8491。

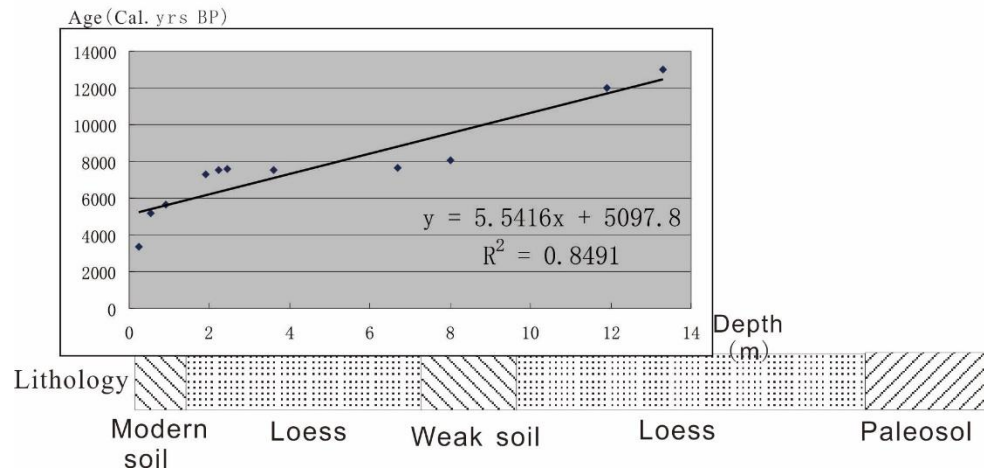


图3.1 则克台剖面地层及深度¹⁴C年代模式（根据Feng et al., 2011；黄昌庆，2012）

为了更全面地研究全新世的气候和环境变化，在则克台剖面附近又挖掘了博乐剖面，则克台剖面和博乐剖面的环境相似，地质结构一样，附近的植被相同。博乐剖面厚11米，和则克台剖面上部10米的地层完全一致，因此直接参考则克台剖面的年代数据。具体如表3.1。

表3.1 博乐剖面地层和年代

深度(m)	年代 (yr BP)	岩性
0.0	5097.80	表层土壤
0.1	5153.22	表层土壤
0.2	5208.63	表层土壤
0.3	5264.05	黄土
0.5	5374.88	黄土
0.8	5541.13	黄土
1.0	5651.96	黄土
1.5	5929.04	黄土
2.0	6206.12	黄土
2.5	6483.20	黄土
3.0	6760.28	黄土
4.0	7314.44	黄土
5.0	7868.60	黄土
6.0	8422.76	黄土
7.0	8976.92	黄土
8.0	9531.08	黄土

9.0	10085.24	黄土
10.0	10639.40	黄土-土壤分界线
11.0	11193.56	古土壤

3.2 巴汗淖(BHN)湖芯钻孔

巴汗淖(BHN)湖芯钻孔样取自鄂尔多斯(Ordos)高原,巴汗淖(109°16'E, 39°19'N)位于内蒙古自治区伊克昭盟乌审旗境内,地处毛乌素沙地中部,海拔高度 1278m,湖盆面积 26.50km² (郭兰兰等, 2007)。巴汗淖周围有半固定沙丘分布,地表水系不发育,除季节性地表径流外无入湖水源,地下水和潜水为湖泊内水源的主要补给来源。鄂尔多斯高原东部属栗钙土干草原地带,西部属棕钙土半荒漠地带。根据中国科学院中国植被编辑委员会 2001 年编纂的中国植被图集,鄂尔多斯高原植被稀疏,主要以沙生、旱生草本及灌木为主,西北部属于温带灌木荒漠,东部属于温带丛生禾草草原,中部南部为锦鸡儿 (*Caragana*) 温带落叶灌丛。在鄂尔多斯高原,沙蒿 (*Artemisia arenaria*) 及禾草草原占据最大的面积,以沙米 (*Agriophyllum squarrosum*)、虫实 (*Corispermum spp*)、猪毛菜 (*Salsola spp*) 为主的沙地先锋植物群落广泛散布在高原各地。此外,在鄂尔多斯高原北部有百里香 (*Thymus mongolicus*)、丛生禾草草原分布,还有籽蒿 (*Artemisia sulsoloides*) 荒漠、苔草 (*Carex spp*) 和杂类草草甸分布;中部有尖苔草 (*Carex vesicata*)、杂类草草甸分布;东部有长茅草 (*Stipa bungeana*) 草原分布,还有百里香、丛生禾草草原;西部杂乱地分布有芨芨草 (*Achnatherum splendens*) 草甸,川青锦鸡儿 (*Caragana tibetica*)、矮禾草草原,戈壁针茅 (*Stipa gobica*) 草原,无芒隐子草 (*Cleistogenes songorica*) 草原退化群落,碱蓬 (*Suaeda*

glauca) 和剪刀股 (*Polygonum sibiricum*) 草甸 (黄昌庆等, 2009)。

鄂尔多斯高原西面的贺兰山分布有油松 (*Pinus tabulaeformis*) 林和青海云杉林; 西南面的屈吴山分布有油松林; 南面的子午岭分布有油松林和杜松 (*Juniperus rigida*) 林; 东面的吕梁山分布有华北落叶松林 (*Larix*) 和油松林; 东北面的大青山和北面的乌拉山分布有油松林。

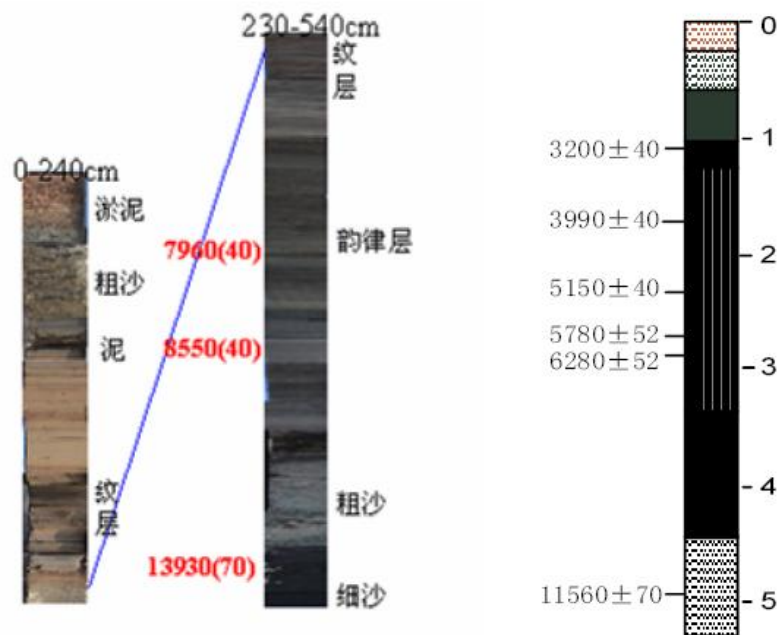


图 3.2 巴汗淖 (BHN) 湖芯岩性柱及测年结果 (据郭兰兰等, 2007)

第四章 孢粉分析

4.1 孢粉鉴定与处理方法

孢粉实验的前处理是在兰州大学西部环境教育部重点实验室孢粉实验室完成。孢粉的鉴定与统计在Louisiana stated University Ocean Department完成。BOLE剖面厚11m，每隔20cm取样一个，表层样品容易受人类活动污染，所以最上部分的一些样品舍弃不做孢粉分析，最后有效分析了50个样品。

4.1.1 孢粉提取步骤

孢粉提取实验过程如下：

(1) 称重：所有样品取样量均在100~250g之间，依据岩性的不同，取样量略有区别，一般情况下，土壤样品取样量少于黄土样品。

(2) 量体积：在有刻度的烧杯中用排液法测出每个样品取样量的体积。

(3) 加石松孢子：将测过体积的样品移入小桶中，每个样品中加入1片石松孢子（27637粒石松孢子）片剂，作为花粉数量的参照。

(4) 去有机质：加少量碳酸钠或稀的氢氧化钠溶液，这样可以去除过多的有机质。然后每天换水一次直到中性。

(5) 加盐酸：向样品中加入10%的稀盐酸。少量而多次加入，防止剧烈反应产生大量泡沫外溢而丢失孢粉。盐酸一定要加到稍微过量（搅拌时不再起泡），期间尽量多次搅拌，使其充分反应。反应彻底后在小桶中加满过滤水，然后每天换水一次直到中性。

(6) 加入氢氟酸：将换水至中性的样品离心去掉水分，再向样品中缓慢

多次加入39%的浓氢氟酸，同时搅拌以使其反应彻底，待其反应完全后，在小桶中加满过滤水，然后每天换水一次直到中性。

(7) 超声波振荡过滤：将洗至中性的样品在超声波振荡器中通过10 μ m孔径的网布，网布上的残留物就富含孢粉了。

(8) 在显微镜下检查，如果有较多的有机物混合在提取的孢粉样品中，会影响孢粉的鉴定，这时则需要加硫酸（1份）与醋酸酐（9份）的混合液，水浴加热10分钟，然后换水直至中性，如果有机质不多，则不用做这一步。

(9) 保存制片：收取后放入小指管，离心去除水分，加入少量甘油保存，鉴定时制作活动片。

4.1.2 孢粉鉴定

孢粉样品的鉴定参照正式出版的孢粉图版(王伏雄等, 1995; 王开发和王宪曾, 1983; Moore&Webb, 1991)和保存在LSU和兰州大学的现代花粉标准片对比鉴定。鉴定时，用40 \times 10倍的物镜和目镜（总放大倍数即400倍）鉴定。部分经常出现的孢粉详见后文所附录图版。鉴定出孢粉，主要分为3类：乔木花粉、草原成分植物花粉和荒漠成分植物花粉。乔木（Trees）花粉包括针叶树花粉和阔叶树花粉，针叶树花粉主要包括松属、云杉属(*Picea*)、冷杉属(*Abies*)、铁杉属(*Tsuga*)、雪松属(*Cedrus*)、柏科(*Cupressaceae*)、落叶松属(*Larix*)、刺柏属(*Juniperus*)等；阔叶树花粉主要包括桦属(*Betula*)、榆属(*Ulmus*)、栎属(*Quercus*)、榛属(*Corynus*)、胡桃属(*Juglans*)、鹅耳枥属(*Carpinus*)、桤木属(*Alnus*)、杨属(*Populus*)、椴树属(*Tilia*)等。荒漠成分植物花粉主要包括藜科、白刺属(*Nitraria*)、怪柳属(*Tamarix*)、麻黄属(*Ephedra*)和蒺藜科等。草原成分植物花粉主要包括菊科(*Compositae*)、蒿属、紫菀型(*Aster type*)、蒲公英型(*Taraxacum type*)、春黄菊型(*Anthemis type*)、凤毛菊型(*Saussurea type*)、禾本科(*Gramineae*)、唇形科(*Labiatae*)、百合科(*Liliaceae*)、狼毒属(*Stellera*)、蓼属(*Polygonum*)、豆科(*Leguminasae*)、毛茛科(*Ranunculaceae*)、伞形科(*Umbelliferae*)、荨麻科(*Urticaceae*)、十字花科(*Cruciferae*)、胡颓子属

(*Elaeagnus*)、蔷薇科(*Rosaceae*)、鼠李属(*Rhamnus*)、兰雪科(*Plumbaginaceae*)、苋科(*Amaranthaceae*)、旋花属(*Convolvulus*)、等。

4.1.3 部分孢粉的环境指示意义

藜科和蒿属花粉在荒漠区花粉组合中是最重要的组成成分，根据EL Moslimany等的研究，藜科和蒿属在组合中的含量与干旱程度相联系，干旱环境中花粉组合以藜科占优势，半干旱环境中以蒿属占优势（孙湘君，1994）。蒿属常与藜科植物相伴出现，但比藜科需要更湿润的环境（翁成郁等，1993）。

蒿属 (*Artemisia*)：蒿属为草本、亚灌木或灌木，广泛分布于北半球温带地区，以草原为多。孙湘君等的研究认为，蒿属花粉存在两个分布的高值区：低温高湿区和半干旱高温区；也即是两个生态型：耐寒型及耐旱型。在7月均温10~17 °C、年降水量在300~900 mm之间，蒿属丰度对温度变化更加敏感，即随着温度降低其含量迅速增加，反映喜冷湿的蒿属类型，蒿属百分含量一般大于20%，最高可达40%以上；在7月均温24~28°C、年降水量在200~350 mm之间，对降水更加敏感，与降水成负相关，反映喜干暖的种类占主导地位，花粉含量一般达20%以上，最高达30%以上。

藜科 (*Chenopodiaceae*)：藜科为草本、半灌木，分布于荒漠、干草原及海滨的盐碱地。在年降水量100~800 mm的环境下，藜科花粉对湿度更敏感，其丰度随着干旱程度的增加而增大；在降水量大于800 mm的区域基本上没有藜科花粉的分布，这一特点充分反映了其耐旱喜干的程度。

菊科 (*Compositae*)：菊科花粉丰度的峰值位于低温高湿区，在7月均温10~30 °C、年降水量100~800 mm的区域里。花粉丰度受到温度和湿度的共同影响，随着温度的降低、湿度的增大而增大，但对湿度的变化更为敏感。在植被类型上，菊科花粉的高分布中心大致相当于高山草甸区。菊科花粉离开母体后能迅速地沉积在地面而不能远距离传播，表现出强烈的地方性（李文漪，1993）。

禾本科 (*Grammineae*)：禾本科花粉丰度集中在两个高值区域，其一为

低温高湿区,即年降水量高于600 mm,7月均温14 °C以下,花粉丰度可达2.2%,且随着温度的降低或降水量的增高而增高。其二,在所降水量小于300 mm,7月均温20~30 °C的范围内,禾本科花粉丰度主要受湿度控制,呈负相关,即湿度愈低花粉丰度反而愈高。许多表土花粉的研究结果显示,禾本科花粉是低代表性的(翁成郁,1993;李宜垠,2000;李月从,2005)。

麻黄属(*Ephedra*):麻黄属为灌木、亚灌木,主要分布于荒漠、荒漠草原。花粉丰度的高峰区位于高温低湿的极端干旱区域,其峰值大于30%。在麻黄属的整个分布区里,它的花粉丰度主要受湿度影响,且与湿度呈负相关,随着湿度降低花粉丰度值增大,麻黄属具有指示极端干旱生境的生态特性。

白刺属(*Nitraria*):白刺属为旱生落叶灌木,主要分布于荒漠、荒漠草原地带,在新疆表土中该属花粉出现在荒漠、荒漠草原、草原,甚至高山草甸中,但百分含量都很低,经常在1%左右,一般不超过5%。

松属(*Pinus*):孙爱芝(2006)认为松属花粉又可分为单束松与双束松,单束松常分布在海拔1000-1200m以上的地区,双束松常分布在海拔1000-1200m以下的地区。

云杉属(*picea*):云杉属花粉丰度受年均降水量的影响,花粉丰度与降水量成正相关,随着降水量的升高其丰度值增高,尤其是在年降水量530 mm以上,7月均温17 °C为云杉属花粉丰度分布峰值线,随着温度的升高或下降其花粉丰度都有所下降。云杉属花粉飞翔能力较差,李文漪(1991)认为,在距云杉林500m以外,云杉属花粉含量降到1%。

桦属(*Betula*)、蓼科(*Polygonaceae*)、蔷薇科(*Rosaceae*)和豆科(*Leguminosace*)等基本与温度和湿度的关系不明显,属于中生生态型。

4.1.4 孢粉数据的处理方法

以统计到的全部花粉的总数为基数,计算每一个样品中各科属花粉的百分比含量,计算公式如下:

$$A=n/N\times 100\%$$

其中，A：某一科属花粉在某个样中的百分比含量

n：统计到该科属的花粉数量

N：某个样品中统计到的所有科属花粉总数

花粉的绝对浓度用外加已知数量石松孢子片剂的方法计算，计算公式如

下： $Pc=L \times N / M/S$

其中，Pc：某科属花粉浓度(grains/g)

L：加入样品中的石松孢子个数（通常为12000-26000粒）

N：统计到的某科属花粉数

M：样品中统计出的石松孢子数 S：样品的重量

4.2 博乐剖面孢粉图谱及分析

各样品实验取样的重量和体积、鉴定和统计到的石松孢子，A/C比，孢粉浓度碳屑鉴定和统计到的孢粉总数，如表4.1。

表4.1 博乐剖面孢粉实验数据

sample No.	Depth (m)	Volume (ml)	Weight (g)	石松孢子	A/C ratio	孢粉浓度 粒/克	碳屑浓度 粒/克	pollen sum
B06	0.6	250	250	488	5.83	29.00	4.79	128
B08	0.8	250	250	308	0.11	42.71	2.50	119
B10	1	250	250	1268	1.75	8.63	3.13	99
B12	1.2	250	250	1674	2.40	5.42	0.91	82
B18	1.8	250	250	1439	5.25	6.76	0.94	88
B22	2.2	250	250	3312	17.67	3.70	0.65	111
B24	2.4	250	250	75	0.45	257.95	3.19	175
B26	2.6	250	250	436	14.50	25.86	3.80	102
B28	2.8	250	250	780	4.60	18.00	1.91	127
B30	3	250	250	555	7.33	20.32	5.23	102
B32	3.2	250	250	550	6.00	22.91	5.44	114
B34	3.4	250	250	826	3.60	14.45	5.03	108

B36	3.6	250	250	376	6.00	34.11	4.54	116
B38	3.8	250	250	415	5.08	32.23	4.02	121
B40	4	250	250	338	25.67	35.00	3.80	107
B42	4.2	250	250	540	11.17	22.31	3.08	109
B44	4.4	250	250	296	11.25	47.80	4.52	128
B46	4.6	250	250	414	9.75	26.97	3.52	101
B48	4.8	250	250	394	30.50	40.40	2.06	144
B50	5	250	250	265	11.11	56.32	1.44	135
B52	5.2	250	250	225	11.17	53.55	2.27	109
B54	5.4	250	250	497	12.29	26.69	2.92	120
B56	5.6	250	250	321	7.67	36.16	1.95	105
B58	5.8	250	250	344	5.60	29.24	3.10	91
B60	6	250	250	384	8.71	27.35	5.68	95
B62	6.2	250	250	386	6.33	36.09	2.38	126
B64	6.4	250	250	549	7.88	22.35	2.52	111
B66	6.6	250	250	669	5.17	18.67	1.90	113
B68	6.8	250	250	447	10.83	26.71	2.54	108
B70	7	250	250	268	3.93	42.07	2.87	102
B72	7.2	250	250	392	8.33	29.05	2.29	103
B74	7.4	250	250	531	8.00	26.02	2.40	125
B76	7.6	250	250	598	7.08	22.37	1.73	121
B78	7.8	250	250	763	5.43	16.08	1.40	111
B80	8	250	250	637	7.08	23.78	2.08	137
B82	8.2	250	250	419	9.00	27.97	3.13	106
B84	8.4	250	250	330	5.64	41.54	2.13	124
B86	8.6	250	250	437	5.28	42.25	2.27	167
B88	8.8	250	250	713	9.92	24.81	4.39	160
B90	9	250	250	976	11.71	13.03	2.03	115
B92	9.2	250	250	937	14.67	14.39	1.94	122
B94	9.4	250	250	741	10.67	15.07	2.40	101
B96	9.6	250	250	632	7.00	16.09	3.55	92
B98	9.8	250	250	524	19.50	21.10	2.38	100
B100	10	250	250	629	4.69	21.97	1.80	125
B102	10.2	250	250	469	9.44	26.87	1.96	114
B104	10.4	250	250	675	14.67	17.36	1.44	106
B106	10.6	250	250	645	9.43	16.28	2.02	95
B108	10.8	250	250	816	15.67	16.26	2.10	120
B110	11	250	250	774	11.00	16.28	1.63	114

实验中鉴定和统计到的部分孢粉类型及数量如表4.2,空白表示鉴定和统计到该种孢粉数量为0。

表4.2 博乐剖面部分孢粉类型及数量

sample No.	<i>Pinus</i>	<i>Picea</i>	<i>Betula</i>	Ulmaceae	<i>Quercus</i>	Juglandaceae	<i>Populus</i>
B06	2	21	1	1			
B08		10					
B10	4	15	0	0	0	0	0
B12	2	12	0	0	2	0	0
B18	3	1	2	2	0	0	0
B22	3	5	0	0	3	0	0
B24		4					
B26							
B28		1	2		2		
B30							
B32	1	2		1			
B34		2			4		
B36	3	2	1				
B38		2			1		
B40			1				
B42		2			1		
B44							
B46	1	1					
B48		1					
B50		1					
B52		1			1		
B54							
B56		1					
B58							
B60		1					
B62			1		1		
B64							
B66	1						
B68							
B70	1	1					
B72		2					
B74		1		1			
B76							

B78							1
B80		1					
B82		1					1
B84		2	1		1		
B86		2			1		1
B88	1	2					
B90					1		
B92		1					
B94							1
B96		3			1		
B98		3					1
B100							
B102					1		
B104			1				
B106		2					
B108			1		1		1
B110		1					

表4.2 博乐剖面部分孢粉类型及数量（续）

sample No.	<i>Artemisia</i>	Gramineae	Compositae	<i>Taraxacum</i>	<i>Aster</i>	Labiatae
B06	70	1			1	2
B08	9	1		2		1
B10	28	7	0	0	0	4
B12	24	0	0	0	0	4
B18	42	4	0	0	0	4
B22	53	5	0	0	3	7
B24	40	1	1		1	
B26	58					8
B28	69	7				2
B30	66	2				3
B32	66	6		1		3
B34	54	6			3	
B36	72	4	2			1
B38	66	1				4
B40	77	2				4
B42	67	3			2	
B44	90	3				4
B46	78					

B48	122	2			1	1
B50	100	2			1	5
B52	67	3			2	3
B54	86	1				5
B56	69	2				7
B58	56	1	1			2
B60	61	1			1	4
B62	76	2		1	2	7
B64	63	2		1		8
B66	62	2			2	3
B68	65	2				3
B70	55	2			1	1
B72	50	3			1	3
B74	88	3				
B76	92	3	1			1
B78	76	1				1
B80	85	1				8
B82	72	3	1			2
B84	79	3	1		1	2
B86	95	3		1	2	5
B88	119	3				1
B90	82		1			2
B92	88	1	1			4
B94	64	2			1	4
B96	56	1	1	2		3
B98	78	1			1	1
B100	75	3			2	6
B102	85	5			1	
B104	88	1			1	
B106	66	4				2
B108	94					2
B110	88	1				1

表4.2 博乐剖面部分孢粉类型及数量（续）

sample No.	Leguminosae	Ranunculaceae	Rosaceae	Polygonaceae	Cruciferae	<i>Caragana</i>
B06		2	2		4	1
B08			2		1	3
B10	1	0	1	3	3	4

B12	0	2	4	2	0	4
B18	2	0	4	0	2	6
B22	0	0	2	0	1	2
B24	4		3	1	4	1
B26		2	6	2	2	4
B28	1		3		3	2
B30	2		3		2	
B32	4		2	2		
B34	4	2	4			
B36		2	3		3	1
B38		1	1	1	9	2
B40		2	4		1	3
B42		2	5		1	4
B44		2	5		1	2
B46			3			2
B48		1	1	1	2	1
B50		2	3		2	1
B52	1	1	3		4	4
B54		1	3		4	2
B56	1		5		2	2
B58	1	2	2		1	3
B60		1	2	1	1	2
B62	1	2	2	1	3	1
B64		3	3	1	4	2
B66	2	1	2	1	2	1
B68	1	2	2		4	2
B70					1	2
B72	2	1	1		1	
B74		2				3
B76	1		1	1	1	
B78		3	1		5	2
B80		2	3	1	2	4
B82			3	3		2
B84		2	2	1	1	1
B86		2	4	1	3	2
B88		1		1	3	
B90		2	3		3	1
B92	1	2	4	2	2	1
B94	1	1	6	1	2	2

B96	1		3		2	
B98			2	1	1	
B100		1	5	2	1	2
B102			1	2		2
B104	2					1
B106	1		3			1
B108	1	1	3		2	2
B110			2	2		1

表4.2 博乐剖面部分孢粉类型及数量（续）

sample No.	Typha	Umbelliferae	Cyperaceae	<i>Plantago</i>	<i>Cannibis</i>	Portulacaceae
B06	1					
B08					2	
B10	4	0	0	0	4	0
B12	2	0	0	0	6	0
B18	0	0	0	0	0	0
B22	0	0	0	0	3	0
B24						
B26				2		
B28			1		2	1
B30		2				
B32					2	
B34		2				1
B36		2				
B38					2	2
B40					1	
B42			1		1	
B44						
B46						
B48				1	1	
B50						
B52						
B54		1		1		
B56					1	
B58				1	1	2
B60						3
B62				2	2	1

B64		1		3		2
B66				6	1	
B68				3		
B70	2	1		6		1
B72				4		
B74				1		1
B76				1		
B78						
B80				1	1	5
B82				1		
B84	1			1	1	
B86		1		2	2	3
B88		1		3		
B90				2		
B92						
B94					1	1
B96					1	
B98		1				
B100					2	
B102				1		
B104	2					
B106						
B108						
B110				1		

表4.2 博乐剖面部分孢粉类型及数量（续）

sample No.	<i>Stellera</i>	<i>Elaeagnus</i>	Verben aceae	Campanu laceae	Linaceae	<i>Urtica</i>
B06						
B08						
B10	0	0	0	0	0	0
B12	0	2	0	0	0	0
B18	0	0	0	0	0	0
B22	0	0	0	0	0	0
B24						
B26		2				
B28		3				
B30						

B32		2				
B34						
B36						
B38						
B40		1				
B42						
B44						
B46		1				
B48						
B50						
B52	2					
B54						
B56						
B58						
B60						
B62	2					
B64	2					
B66	8					
B68	10					
B70	10					
B72	25					
B74	6				1	
B76						
B78		1				
B80		1				
B82						
B84						
B86	7					
B88	9					
B90	5					
B92						
B94				1		
B96						
B98					1	
B100						
B102	2					
B104	3					
B106	1					
B108						

B110	5					
------	---	--	--	--	--	--

表4.2 博乐剖面部分孢粉类型及数量（续）

sample No.	Chenopodiaceae	<i>Ephedra</i>	<i>Nitraria</i>	<i>Tamarix</i>	Zygophyllaceae	<i>Tribulus</i>
B06	12	1	1	2	1	
B08	80	4	3	1		
B10	16	1	0	1	3	0
B12	10	0	0	4	2	0
B18	8	2	2	2	0	
B22	3	15	0	6	0	
B24	89	1	5	4	15	
B26	4		2	2	8	
B28	15	2	1	3	4	
B30	9			3	7	
B32	11	2	2	4		
B34	15		2	1	5	3
B36	12		2	3	2	
B38	13	4		2	5	
B40	3	1		3	3	
B42	6	1	1	3	8	
B44	8		1	5	6	
B46	8			1	5	
B48	4	2		2	1	
B50	9	1		5	3	
B52	6			2	6	
B54	7	1		3	4	
B56	9			3	1	
B58	10	1		2	4	
B60	7	1	1	4	3	
B62	12	1		3	2	
B64	8	1	1	3	3	
B66	12	2	1	3		
B68	6		1	3	3	
B70	14	1		1		1
B72	6	1		3		
B74	11			2	1	1
B76	13			2	3	

B78	14			5		
B80	12		1	6	3	
B82	8			2	3	2
B84	14			3	3	
B86	18		1	5	4	1
B88	12		1	2		1
B90	7			3	2	
B92	6			5	3	
B94	6			4	3	
B96	8		1	4	3	
B98	4			4		
B100	16	1	1	5	3	
B102	9			3	1	
B104	6				1	
B106	7	1		4	2	
B108	6	1		2	3	
B110	8			2	1	

依据乔木、草原型草本和荒漠型草本植物之间的相对含量关系，并结合地层、孢粉浓度和CONSYS结果进行分段，如图4.1，自下而上分为4个带段，依次为ZA、ZB、ZC、ZD。

ZA (11-10 m; 11193-10693 yr B.P.)，相对应的岩性为古土壤。乔木花粉百分比较低，低于5%，乔木花粉中以云杉为相对最多。蒿属花粉百分比含量高达70-80%，而且比较稳定，唇形科花粉含量比较低，低于5%，蔷薇科花粉约为2%，草原成分的草本植物花粉含量约90%。藜科花粉含量在5-10%波动，柽柳科花粉平均含量低于2%，蒺藜科花粉含量也在5%以下波动，荒漠成分的植物花粉含量在15%和10%之间变化，A/C波动较小，在10左右，总体来说是在相对较高的值。孢粉浓度较低，在10-20 grains/g范围波动， $>10\mu\text{m}$ 碳屑浓度范围为1600-2200grains/g。反映了蒿-藜草原植被，气候较为湿润。

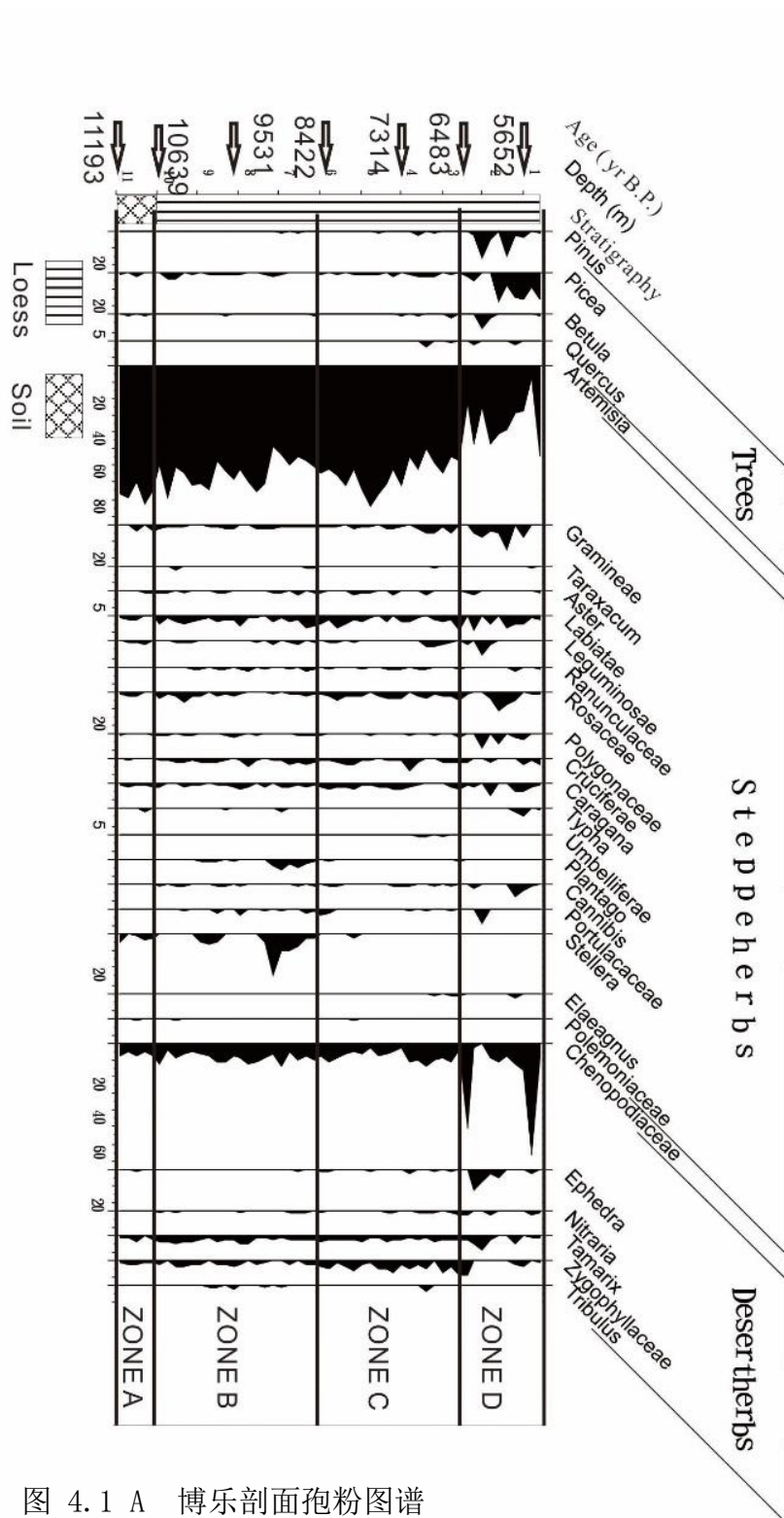


图 4.1 A 博乐剖面孢粉图谱

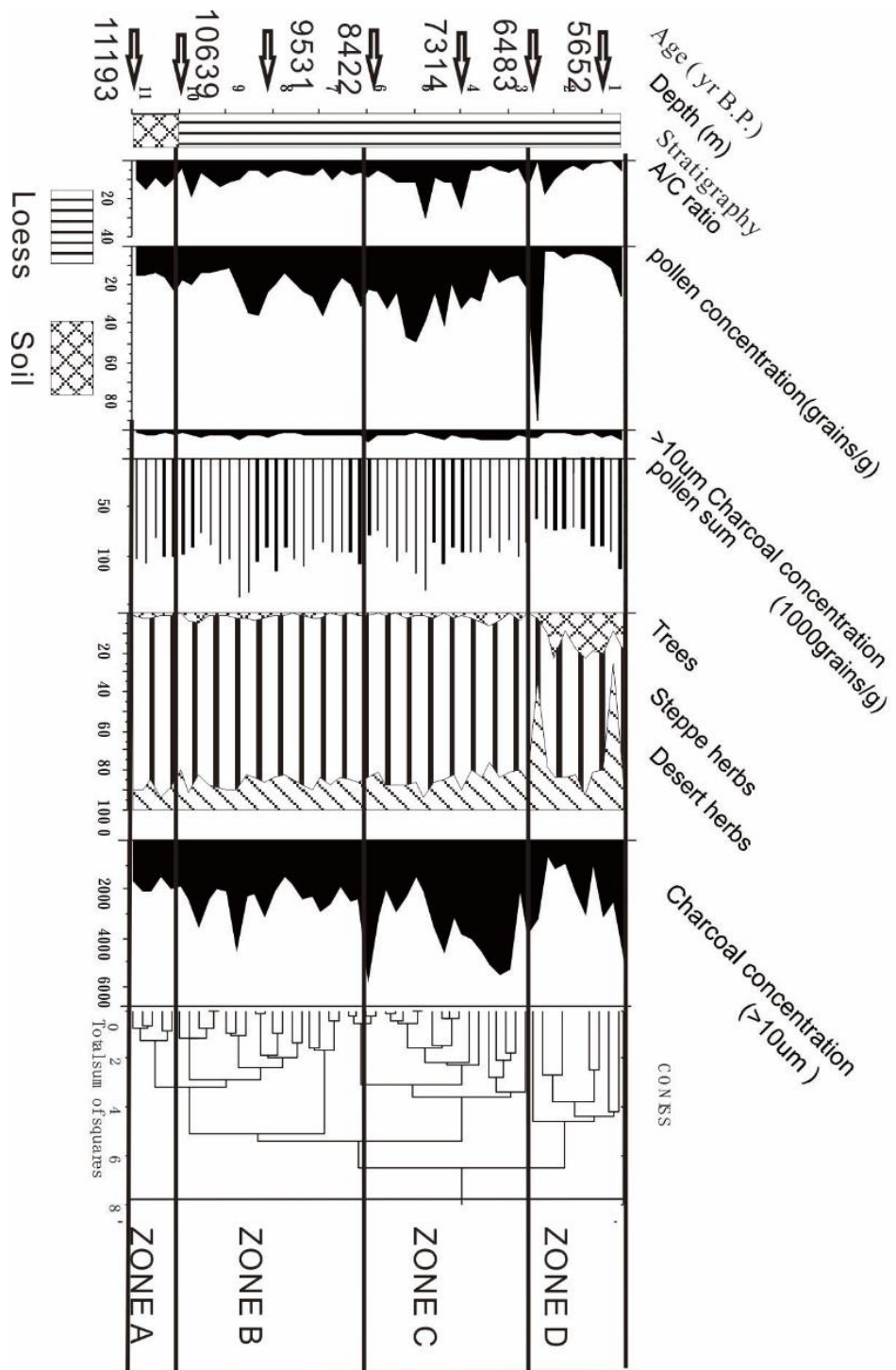


图 4.1 B 博乐剖面孢粉图谱

ZB (10-6 m; 10693-8422 yr B.P.), 相对应的岩性为黄土。乔木花粉百分比较低, 低于5%, 和上一带段相似, 乔木花粉中以云杉为相对最多。蒿属花粉百分比含量50-70%, 而且变化较大, 唇形科花粉含量比较低, 低于5%, 蔷薇科花粉平均值低于2%, 草原成分的草本植物花粉含量约80-90%。藜科花粉含量在5-15%波动, 柽柳科花粉平均含量低于2%, 蒺藜科花粉含量也在5%以下波动, 荒漠成分的植物花粉含量在10%和20%之间变化, A/C波动较大, 平均值接近5-6, 总体来说是在相对较低的值。孢粉浓度波动较大, 在10-40 grains/g范围波动, >10 μ m 碳屑浓度范围为1800-3800grains/g。反映了藜-蒿草原植被, 气候比ZA段干旱。

ZC (6-2.5 m; 8422-6483 yr B.P.), 相对应的岩性为黄土, 孢粉组合主要特征是孢粉浓度变化剧烈。乔木花粉百分含量有所上升, 少数样品中已经高于5%, 乔木花粉中以云杉为相对最多。蒿属花粉百分比含量50-70%, 唇形科和蔷薇科花粉含量变化不大, 仍然低于5%, 草原成分的草本植物花粉含量降低, 约80%。藜科花粉波动上升, 最高接近20%, 柽柳科花粉平均含量低于2%, 蒺藜科花粉含量有所增加, 荒漠成分的植物花粉含量在10%和20%之间变化, A/C波动大, 在5-36波动, 总体来说是在相对较高的值。孢粉浓度波动较大, 在10-50 grains/g范围波动, 总体来说是在相对较高的值, >10 μ m 碳屑浓度范围为1500-6000grains/g。反映了蒿-藜草原植被, 气候偏湿。

ZD (2.5-0 m; 6483-5000 yr B.P.), 相对应的岩性为黄土, 孢粉组合主要特征是孢粉组合变化剧烈。乔木花粉百分含量为全剖面最高, 少数样品接近20%。蒿属花粉百分比含量10-70%, 是全带段中最低的, 唇形科和蔷薇科花粉含量波动加大, 禾本科花粉含量增加, 在0-17%变化, 草原成分的草本植物花粉含量降低, 约20-60%。藜科花粉在5-70%剧烈波动, 麻黄属花粉一度达到10%, 柽柳科花粉和蒺藜科花粉含量也波动较大, 荒漠成分的植物花粉含量在10%和80%之间变化, A/C波动大, 在1-20波动, 总体来说是在相对最低的值。孢粉浓度波动较大, 在30 grains/g以下范围波动, 是全带段最低的, >10 μ m 碳屑浓度范围为300-4500grains/g。反映了藜-蒿草原植

被，气候干旱。

孢粉组合基本可以反映当时的植被状况。根据孢粉组合，结合地层岩性及年代，可重建当地植被与气候演变序列：11193-10693 yr B.P.，主要为蒿-藜草原植被，气候偏湿润；10693-8422 yr B.P.，主要为藜-蒿草原植被，干旱程度增加；8422-6483 yr B.P.，主要为蒿-藜草原植被，干旱程度减小；6483-5000 yr B.P.，主要为藜-蒿草原植被，环境干旱化。

4.3 FBM1 钻孔孢粉图谱及分析

FBM1钻孔取自中美洲尼加拉瓜东部沿海，位于海堤向内陆一侧，距离加勒比海100米。FBM1钻孔达到489厘米的深度，岩性自下而上依次主要为黑泥炭、灰粘土、多有机质泥土、多有机质泥沙。共测得4个有效年代，分别是上部的495±50B.P. (55厘米)、775±25B.P. (60厘米)、885±35B.P. (100厘米)、下部的4310±30B.P. (430厘米)。

孢粉实验的前处理、鉴定与统计均在Louisiana stated University Ocean Department按标准流程完成。表4.3是FBM钻孔的部分孢粉数据，空白代表该花孢粉类型在该样品中未发现。

表4.3 FBM钻孔的孢粉类型与数量

Depth(cm)	Pinus	Aquifoliaceae (Ilex)	Apocinaceae	Avicennia	Araceae	Bombacaceae
8	11	5		1	2	
16	1	24			2	2
21	3	4				
32	7	15				11
41	3	3		5	2	
51	6	3				
61		22				
75	1	15		1		1
81	2	30	1			1

91		49				
101	1	65				
111	1	18	4		51	
121		25				
131	2	9				
143		30		4		
151		4				
161	1	5				
171	1	24				
181	4	16				
191		11	1		2	
201	3	12				
210	9	17	4	3		
221	3	13				
231	1	15				
241	4	18				1
251	2	26				
260	13	28				
271	5	30	1	1		
280	15	31				
300	11	41				
320	14	45				
340	14	45				
360	3	35				
371	10	30		10		2
380	10	51				
400	12	69				1
420	5	58				
430	6	70				
440	6	39				
450	2	157				
460	2	27			1	

表4.3 FBM钻孔的孢粉类型与数量 (续)

Depth(cm)	Bromel iaceae	Bignon iaceae	Euphor biaceae	Fagaceae -Quercus	Flacor taceae	Guttiferae
8	11		10	2	2	
16		4	14	5		

21			7	2		1
32		5				
41		35		6	5	
51		1				
61		1	2	4	13	1
75	2	1	2			
81			9	1	1	
91			8			3
101	1	3	6	3	3	2
111				1		
121			1		5	8
131			2	1	3	2
143		2		4		
151				1		
161			2	2	5	2
171		1	7		10	4
181			3	3	8	6
191				1		4
201		1	23	2	17	2
210	8					
221			10		4	
231			3	2	3	5
241		2	10	1	9	2
251		4	10		13	4
260			13	2	7	2
271				1		
280		2	18		8	3
300			23		18	2
320			22		10	
340		8	20		18	
360		2	18	1	7	
371						
380			7		4	1
400		1	12		15	1
420		3	15		3	1
430		2	10	1	11	1
440			3		5	
450		1	3		3	
460			3		5	

表4.3 FBM钻孔的孢粉类型与数量 (续)

Depth (cm)	Hippo cratea	Lentibul eriaceae	Leguminosae (Papilinoideae)	Mimosea	Melasto mataceae	Myric aceae
8						1
16			9			
21			5		1	
32	3		14	1		
41			35		6	
51	4		70		1	
61	12					
75	1	3	75		8	4
81	4		3		3	
91		1	4		5	
101		2	17		1	
111			17		4	37
121			3			
131			3			
143			23		5	4
151			2			
161			8			
171					2	
181			12	1		
191	1			3	5	20
201		1	2			
210	1	2	26	1	8	3
221			3		5	
231			2		3	
241			5			
251			5		1	
260						
271	1		3	3	3	10
280						
300						
320						
340						
360						
371			5	1	5	30
380				1		

400		1		3	1	
420		1				
430						
440						
450				2		
460				2		

表4.3 FBM钻孔的孢粉类型与数量 (续)

Depth (cm)	Myrica	Myrtaceae	Eugenia	Palmae	Cocos	Polygonaceae (Coccoloba)
8						
16	7	6		43		3
21	2			53		
32	2		31	7		
41			75			
51	2		10			
61	3	15		14		2
75	7		6			
81	7			43		7
91	11	6		32		
101	37	6		57		7
111	60	18				
121	109	3		54		
131	171	3		8		
143	7	5	1	55		
151	6	3		242		
161	142	4		9		
171	68	7		4		
181	9	3		4		
191	18		7			
201	20	4		8		
210	1		10			
221	18	1		4		
231	20			8		1
241	28			8	3	
251	33	1		6		

260	26	3		14	4	
271	15	4	3			3
280	32	2		14	2	
300	51	2		20	6	
320	53	3		16	3	
340	43	3		21	10	
360	59			17	8	
371	25					
380	61	6		25	9	
400	43	1		12	2	
420	59	8		17	4	
430	84	2		15	7	
440	140	10		21	1	
450	75	8		9		
460	133	11		11		

部分孢粉指示的环境意义：FBM1钻孔位于海陆过渡带，海面上升、地壳下沉、飓风袭击都会导致海水淹没该地，从而发育海岸潮泥滩植被，乔木减少；其它时期陆地出露，由于降水量大，乔木迅速发育，从而形成森林植被。松属 (*Pinus*) 花粉含量较多，通常意味着当时的环境为陆地，水分条件不是很湿润；冬青属 (*Aquifoliaceae*)、大戟科 (*Euphorbiaceae*) 和壳斗科 (*Fagaceae*) 等乔木花粉含量较多时，通常意味着当时的环境为陆地，所以能够生长乔木。红树科 (*Rhizophora*) 花粉较多时，通常意味着咸水环境，说明当时为水下环境。桃金娘科 (*Myrtaceae*)、茜草科 (*Rubiaceae*) 等草本花粉较多时，通常意味着海水退却初期，草本植物比乔木植物更快地发育。

根据孢粉组合及岩性，把FBM1钻孔可分为四个带段，自下而上依次为Z4、Z3、Z2、Z1 (图4.2)。

Z4 (489-436cm, 5400 - 4900 cal BP)，岩性为泥炭。松属花粉含量低于2%，冬青属花粉含量高，在8-42%波动，大戟科花粉约为1%，壳斗科花粉几乎没有，杨梅科花粉含量高达30%，桃金娘科花粉平均约为3%，茜草科花粉低于1%，红树科花粉低于5%，禾本科花粉约2%。当时环境最有可能是一个障壁

后的沼泽，被灌木丛和热带森林包围，孢粉组合指示环境变化较为平衡，飓风事件少，是一个飓风相对平静时期。

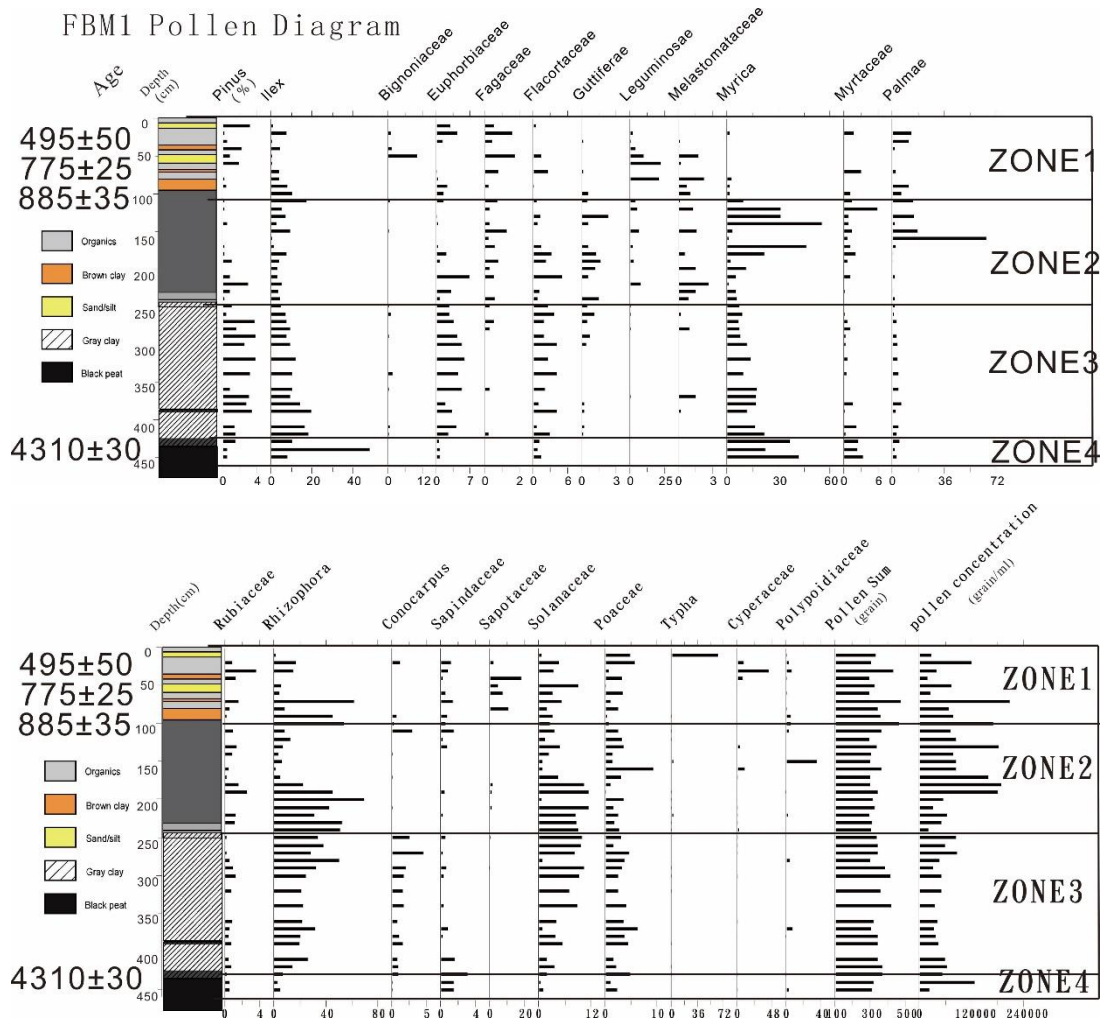


图4.2 FBM1钻孔孢粉图谱

Z3区（435 - 251cm, 4900 - 2800 cal yr BP）岩性是灰色粘土。松属花粉含量增加，低于4%，冬青属花粉含量高，在5-20%波动，大戟科花粉含量增加，约为5%，壳斗科花粉很少，杨梅科花粉含量在5-25%波动，桃金娘科花粉含量减少，茜草科花粉平均低于1%，红树科花粉波动增加，含量在10-40%之间，茄科花粉含量增加，约为10%，禾本科花粉约3%，孢粉浓度约5000-6000粒/克。当时环境最有可能是红树林支配的潮泥滩，边缘地区正形成森林，因而也不易指示飓风造成的影响。

Z2 (250-95cm, 2800 - 800 cal yr BP), 松属花粉含量减少, 平均低于1%, 冬青属花粉含量低, 在2-10%波动, 大戟科花粉含量减少, 壳斗科花粉增加到1%, , 杨梅科 (*Myricaceae*) 花粉含量增加, 在2-35%波动, 桃金娘科花粉含量增加, 平均约为2%, 茜草科花粉低于2%, 红树科花粉波动减少, 含量在5-70%之间, 茄科 (*Solanaceae*) 花粉含量较高, 约为10%, , 禾本科花粉约3%, 孢粉浓度高, 最高接近20000粒/克。可能代表一个障壁后的发展沼泽, 红树林慢慢被杨梅等取代。孢粉组合指示环境变化较为平衡, 飓风事件少, 是一个飓风相对平静时期。

Z1 (1-94cm, 800 - 0 cal yr BP), 这一带段的孢粉特征是波动非常大。松属花粉含量增加, 但是波动较大, 平均约1-2%, 冬青属花粉在3-10%波动, 大戟科花粉含量0-5%, 壳斗科花粉0-2%, , 杨梅科花粉剧烈减少, 接近0, 桃金娘科花粉0-2%, 茜草科花粉0-4%, 红树科花粉波动减少, 含量在2-60%之间, 茄科花粉 1-8%, , 禾本科花粉约0-5%, 孢粉浓度2000-20000粒/克。红树林仅仅经历了短暂的复苏, 热带森林物种 (例如, 山榄科、豆科, 桃金娘科) 的增加, 慢慢发育为莎草和香蒲占优势的沼泽。孢粉组合的剧烈变化指示环境变化剧烈, 飓风事件多, 是一个飓风相对活跃时期。

第五章 孢粉对比

5.1 松属花粉的环境指示意义

干旱区植被稀疏,水分是植物生长的主要限制性因素,环境的轻微变化,尤其是有效湿度的变化,都会反映到具体的植被群落。气候干旱时,环境恶化,有效湿度减小,植被恶化,树木较难存活,草本植物占更大的比重,孢粉组合的乔木花粉百分比含量相对较低,总孢粉浓度下降;环境适宜时,有效湿度增加,植被发育良好,树木容易生长,大体上孢粉组合的草本花粉百分比含量相对减少、乔木花粉百分比含量相对增加,孢粉总数和种类多,孢粉浓度高。因此,在干旱半干旱地区,孢粉浓度(或者孢粉通量)是反映植被和环境状况的良好指标之一(朱艳等,2004),孢粉浓度对于生态环境的变化(尤其是湿度的变化)具有敏感指示意义。但是,孢粉浓度与植被盖度关系不一定是线性相关,特别是在草原和荒漠中(罗传秀等,2007)。

Davis(1973)描述花粉含量(P)与植物丰度(V)之间的关系时,提出校正系数 $R=P/V$ 的概念,此后R值被广泛应用。松属(*Pinus*)花粉的R值远远大于1,具有超代表性。李文漪(1990)认为:没有松林生长的植被中,松属花粉含量仍可达15.2-55.5%。稀少的草本孢粉是过去和现代当地植被组成的重要指示器,它们应该被重视(Pardoe H.S. et al., 2001),高代表性的花粉比如松属花粉的出现,不一定说明环境很湿润。为了验证松属花粉的指示意义,选取不同气候和植被环境下的沉积物孢粉进行分析,首先仍然选取博乐剖面、FBM1钻孔,然后再选取BHN剖面。BHN剖面(巴汗淖尔剖面)位于黄土高原,年降水量约400mm,高于博乐地区的200mm,远低于FBM1钻孔所在的尼加拉瓜地区的约2000mm。我在2007年曾经研究过该剖面,当地并没有松林,但是孢粉含量

中松属花粉的比重很大，环境远比FBM1钻孔所在的尼加拉瓜地区干旱，但是环境比博乐地区湿润，可以用来研究不同的松属花粉百分比含量与气候环境的湿润程度之间是否存在简单的线性关系。对博乐剖面、FBM1钻孔和BHN剖面的各选取30个样品进行松属花粉百分比含量进行对比分析（表5.1），每个剖面均从表层开始选取30个样品。

表5.1 松属花粉百分比含量对比数据

BOLE 剖面		FBM1 钻孔		BHN 剖面	
Depth(cm)	Pinus (%)	Depth(cm)	Pinus (%)	Depth(cm)	Pinus (%)
8	3.26	60	1.56	50	67.03
16	0.32	80	0.00	52	86.71
21	0.68	100	4.04	55	72.73
32	2.32	120	2.44	58	56.08
41	0.91	180	3.41	59	72.22
51	1.99	220	2.70	62	63.02
61	0.00	240	0.00	66	57.83
75	0.29	260	0.00	68	67.30
81	0.55	280	0.00	70	87.96
91	0.00	300	0.00	72	78.86
101	0.27	320	0.88	74	39.25
111	0.33	340	0.00	76	63.76
121	0.00	360	2.59	79	77.41
131	0.65	380	0.00	83	80.28
143	0.00	400	0.00	85	81.67
151	0.00	420	0.00	87	87.19
161	0.33	440	0.00	89	85.31
171	0.33	460	0.99	91	70.75
181	1.16	480	0.00	93	77.45
191	0.00	500	0.00	96	74.06
201	0.91	520	0.00	98	67.33
210	3.00	540	0.00	100	72.87
221	0.95	560	0.00	103	71.56
231	0.32	580	0.00	105	75.30
241	1.16	600	0.00	108	71.81
251	0.58	620	0.00	110	81.65
260	3.75	640	0.00	113	84.96
271	1.64	660	0.88	115	63.84
280	3.87	680	0.00	118	82.56

300	2.60	700	0.98	120	74.32
平均值	1.07	平均值	0.68	平均值	73.10

博乐剖面各样品中松属花粉百分比含量在0-4%之间，平均为1.07%(图5.1)。

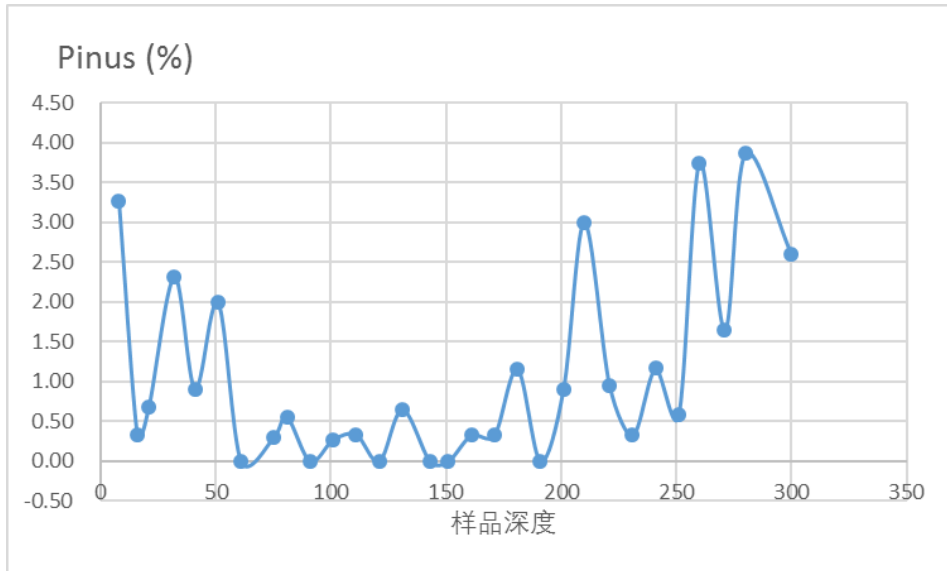


图5.1 博乐剖面松属花粉百分比含量

FBM1钻孔各样品中松属花粉百分比含量在0-4%之间，平均为0.68%，如图5.2。

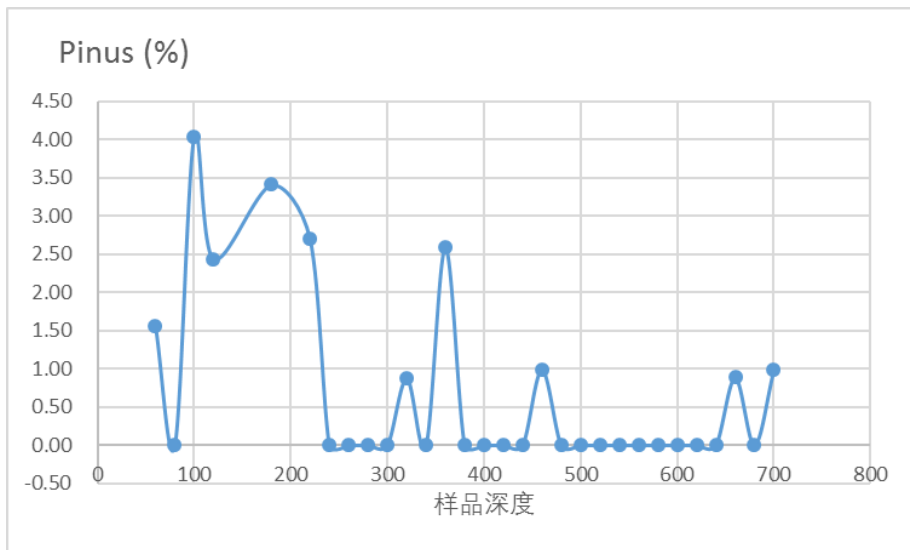


图5.2 FBM1钻孔松属花粉百分比含量

虽然BHN剖面松属花粉百分比含量远远大于博乐剖面和FBM1钻孔的松属花粉百分比含量，但是实际气候环境情形却是BHN剖面所在的地区远远比FBM1钻孔所在的地区干旱，所以松属花粉百分比含量并不能简单地反映环境的湿润程度。另一方面的原因在于：松树花粉生产能力很强，松属花粉传播的距离很远。

BHN剖面各样品中松属花粉百分比含量在39-87%之间，平均为73.1%，如图5.3。

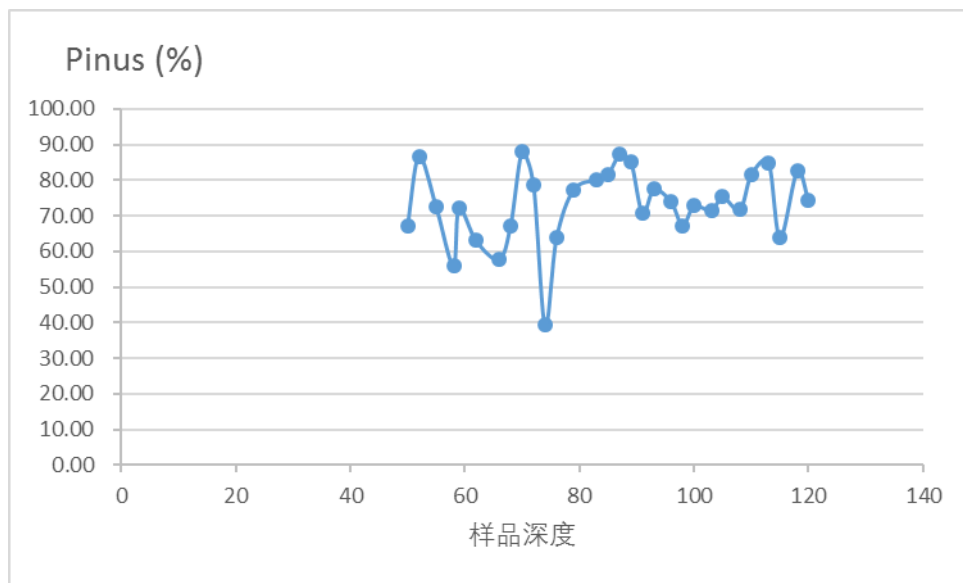


图5.3 BHN剖面松属花粉百分比含量

5.2 与则克台对比

在博乐剖面附近就是则克台剖面，冯兆东团队在中亚进行了详细的古环境研究，其中有一些高分辨率的研究结果，也有一些黄土剖面的高分辨率的研究结果，则克台剖面就是其中的一个。则克台剖面已经被很多学者研究过，

是一个经典的剖面，因而也是一个非常好的对比对象。

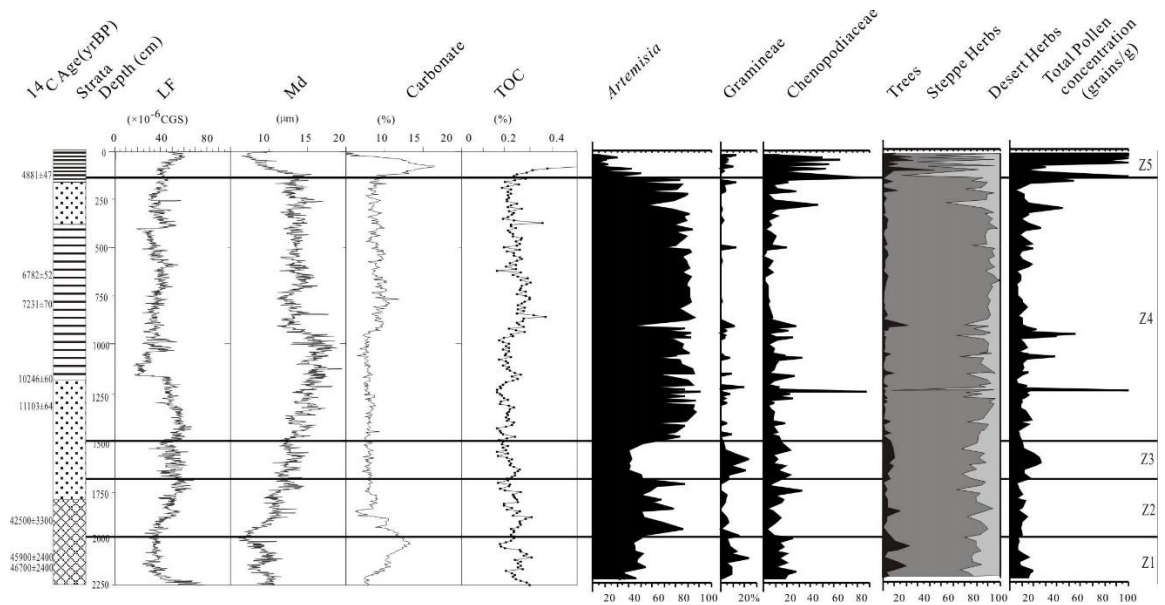


图5.4 则克台剖面多指标古环境研究(根据Feng et al., 2011, 黄昌庆2012)

其中则克台剖面的Z4阶段就相当相当于博乐11米厚剖面的ZAZBZCZD4个阶段。均反映了气候有一定的波动，环境大致向干旱化发展，但是并不是特别干旱。

5.3 其它对比

再和遥远的东亚季风区记录以及30°N夏季太阳辐射量进行对比，如图5.5所示，A部分是博乐剖面孢粉指标，B部分是30°N夏季太阳辐射量，C部分是东亚季风区的葫芦洞记录。全新世以来，30°N夏季太阳辐射量从峰值开始逐渐下降，董歌洞的 $\delta^{18}\text{O}$ 也显示气温从峰值开始下降，博乐剖面孢粉组合显示环境向干旱化发展。博乐剖面孢粉组合的变化似乎和30°N夏季太阳辐射值变化比较一致，可能指示中亚地区气候变化符合夏季太阳辐射值变化规律。

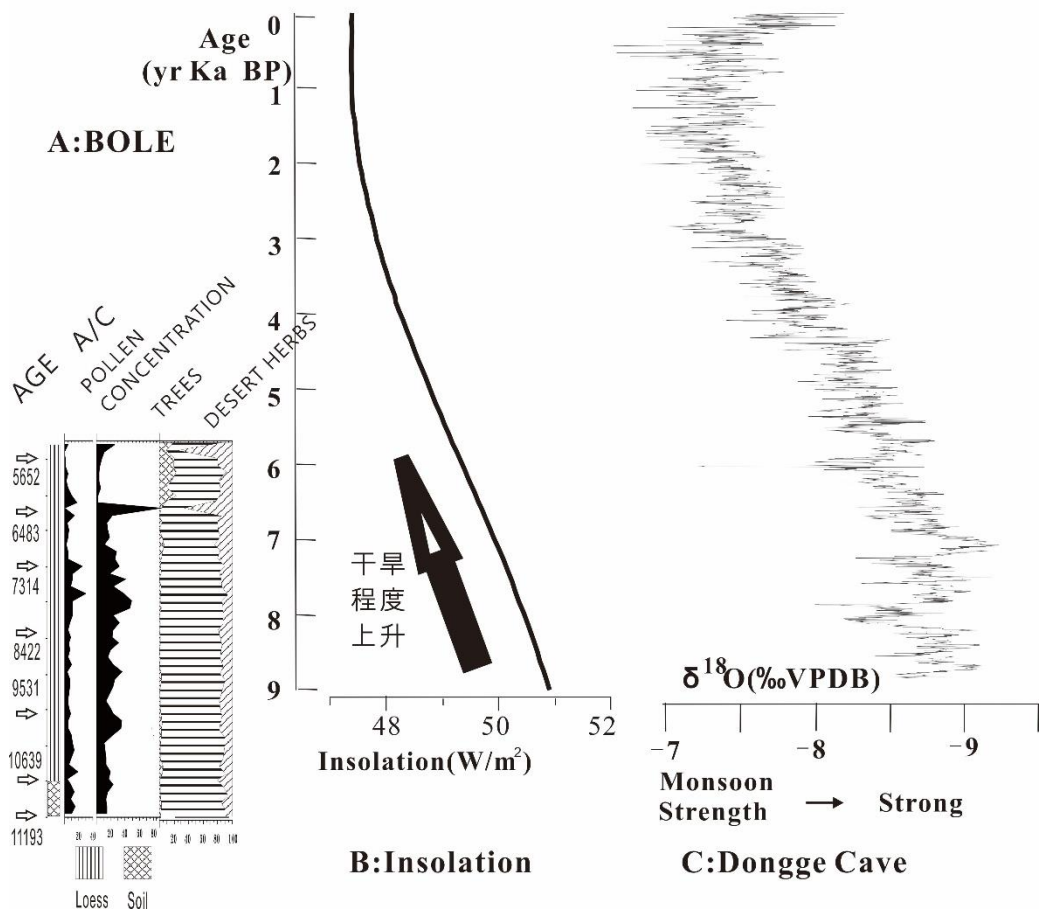


图5.5 博乐剖面、太阳辐射量、葫芦洞记录对比图

博乐剖面孢粉组合和FBM1钻孔孢粉组合进行对比，在细节上来看，似乎不能对应、似乎找不到遥相关关系。孢粉组合并不是一个很精确的气候代用指标，对某些气候要素的变化以及气候事件的反映并不是很灵敏，这可能是原因之一。另外一个原因可能是因为时间系列比较短，如果放在万年尺度上，也许可以反映某些全球气候的遥相关关系。更好的办法应该是采用多指标分析，利用一个比较精确的指标，再用孢粉组合进行验证。

第六章 结论与展望

主要结论

1) 根据博乐剖面孢粉组合, 重建当地植被与气候演变序列: 11193-10693 yr B.P., 主要为蒿-藜草原植被, 气候偏湿润; 10693-8422 yr B.P., 主要为藜-蒿草原植被, 干旱程度增加; 8422-6483 yr B.P., 主要为蒿-藜草原植被, 干旱程度减小; 6483-5000 yr B.P., 主要为藜-蒿草原植被, 环境干旱化。

2) 尼加拉瓜东部沿海的FBM1钻孔孢粉组合显示了5400年来当地的飓风简况: 5400 - 4900 yr B.P., 飓风事件较少; 4900 - 2800 yr B.P., 当时环境可能是红树林支配的泥滩, 不易指示飓风的影响; 2800 - 800 yr B.P., 飓风事件少; 800 - 0 yr B.P., 孢粉组合的剧烈变化指示环境变化剧烈, 飓风事件多。

3) 松属花粉百分比含量并不能简单地反映环境的湿润程度。

4) 博乐剖面孢粉组合和FBM1钻孔孢粉组合进行对比, 没有发现遥相关关系。

问题与展望

1) 博乐剖面 and FBM1 钻孔的遥相关对比做得不好。

2) 年代精确性和孢粉组合对环境的指示意义仍然是利用孢粉数据重建古环境的两个困难但是又很重要的问题。

3) 尼加拉瓜东部沿海植被非常茂盛,FBM1钻孔孢粉的种类很多,孢粉图谱中无法包括所有的种类在内。

4) 中亚干旱区的环境变化仍然需要更多的更精确的记录,气候变化的机制仍然需要进一步的研究。

主要参考文献

- Alexander A, Prokopenko, Galina K, Khursevich, 2007. Paleoenvironmental proxy records from Lake Hovsgol, Mongolia, and a synthesis of Holocene climate change in the Lake Baikal watershed. *Quaternary Research* (68): 2–17.
- An Z., Porter S.C., Kutzbach J.E., Wu X., Wang S., Liu X., Li X., Zhou W., 2000. Asynchronous Holocene optimum of the east Asia monsoon. *Quaternary Science Reviews*, 19: 743-762.
- Andersen K.K., Azuma N., Barnola J.M. Bigler, et al., 2004. High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period. *Nature* 431:147-151.
- Andrews J.T., Mode W.N., Davis P.T., 1980. Holocene climate based on pollen transfer function. *Eastern Canadian Arctic. Arctic and Alpine Research*, 12(1):41-64.
- Aubekero, B. and Nigmatova, S., 2003. Late Holocene paleoclimate and paleogeography in the Tianshan-Balhash region. *PAGES News*, 11: 24-26.
- Bennett K D, Haberle S G, Lumley S H, 2000. The last glacial-Holocene transition in southern Chile. *Science*, 290 : 325-328.
- Berger A., Loutre M F, 1991. Insolation values for the climate of the last 10 million of years. *Quaternary Sciences Review*, 10(4): 297-317.
- Bernd Wu'nnemann, Steffen Mischke, Fahu Chen, 2006. A Holocene sedimentary record from Bosten Lake, China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 234: 223-238.
- Blyakharchuk T.A., Wright H.E., Borodavko P.S., van der Knaap, W.O., Ammann, B., 2004. Late Glacial and Holocene vegetational changes on the Ulagan high-mountain plateau, Altai Mountains, southern Siberia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 209(1-4): 259-279.
- Blyakharchuk T.A., Wright H.E., Borodavko P.S., van der Knaap, W.O., Ammann, B., 2007. Late Glacial and Holocene vegetational history of the Altai Mountains (southwestern Tuva Republic, Siberia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 245(3-4): 518-534.
- Bond G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti R., Almasi, P., deMenocal, P., Priore, P., Cullen, H.,

- Hajdas, I. and Bonani, G., 1997. A pervasive millennial-scale cycle in north Atlantic Holocene and glacial climates. *Science*, 278: 1257-1266.
- Bond G.C. and Lotti R., 1995. Iceberg discharges into the North Atlantic on millennial time scales during the last glaciation. *Science*, 267: 1005–1009.
- Brenes, C.L., Hernandez, A., Ballester, D., 2007. Flushing time in Perlas Lagoon and Bluefields Bay, Nicaragua. *Investigaciones Marinas* 35, 89 – 96.
- Broecker W. S., BOND G., McManus J., Klas M. and Clark E., 1992. Origin of the Northern Atlantic's Heinrich events. *Climatic Dynamics*, 6: 265–273.
- Burns S.J., D. Fleitmann, A. Matter, J. Kramers, 2003. Indian Ocean climate and an absolute chronology over Dansgaard/Oeschger events 9 to 13. *Science*, 301:1365–1367.
- Bush A.B.G., 2005. CO₂/H₂O and orbitally driven climate variability over central Asia through the Holocene. *Quaternary International*, 136:15-23.
- Chachula J., 2003. The Siberian loess records and its significance for reconstruction of Paleistocene climate change in north-central Asia. *Quaternary Science Reviews*, 22: 1876-1906.
- Chen C-T, Lan H., Lou J., et al., 2003. The dry Holocene Megathermal in inner Mongolia. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 193(2): 181-200.
- Chen F.H., Yu Z.C., Yang M.L., Ito, E., Wang, S.M., Madsen, D.B., Huang, X.Z., Zhao, Y., Sato, T., Birks, H.J.B., Boomer, I., Chen, J.H., An, C.B., Wunnemann, B., 2008. Holocene moisture evolution in arid central Asia and its out-of-phase relationship with Asian monsoon history. *Quaternary Science Reviews*, 27(3-4), 351-364.
- Chen J., An Z.S. and Head J., 1999. Variation of Rb/Sr ratios in the loess-paleosol sequences of central China during the last 130,000 years and their implications for monsoon paleoclimatology. *Quaternary Research*, 51: 215-219.
- Cheng B., Chen F. H., Zhang J. W., 2010. Palaeovegetational and Palaeoenvironmental Changes in Gonghe Basin since Last Deglaciation. *Acta Geographica Sinica*, 65:1336-1344.
- Clark P u Clague J J. Curry B B, et al., 1993. Initiation and development of the Laurentide and Cordilleran ice sheets following the last interglaciation. *Quaternary Science Review*, 12: 79-144.
- Clement A. C., and L. C. Peterson, 2008. Mechanisms of abrupt climate change of the last glacial period. *Rev. Geophys.*, 46, RG4002.
- Cour P., Zheng Z., Duzer D., Calleja, M. & Yao, Z., 1999. Vegetational and climatic significance of modern pollen rain in northwestern Tibet. *Review of Palaeobotany and Palynology* 104: 183-204.

- Dansgaard W., Johnsen, S.T., Clausen, H.B., et al., 1993. Evidence for general instability of past climate from a 250 kyr ice core record. *Nature*, 364:218-220.
- Davis M.B, Brubaker M.B., 1973. Differential sedimentation of pollen grains in lakes. *Limnology Oceanography*, 18: 635-646.
- Ding Z.L., Ranov V., Yang S.L., Finaev A., Han J.M. and Wang G.A., 2002. The loess record in southern Tajikistan and correlation with Chinese loess. *Earth and Planetary Science Letters*, 200: 387-400.
- Dong J. G., Wang Y. J., Cheng H., Ben, H., Edwards, R. L., Kong, X. G., Wu, J. Y., Chen, S. T., Liu, D. B., Jiang, X. Y. & Zhao, K. 2010. A high-resolution stalagmite record of the Holocene East Asian monsoon from Mt Shennongjia, central China. *The Holocene* 20, 257-264.
- Donnelly, J.P., Woodruff, J., 2007. Intense hurricane activity over the past 5000 years controlled by El Nino and the West African Monsoon. *Nature* 44, 465 - 468.
- Dorofeyuk N.I., Tarasov P.E., 1998. Vegetation and lake levels in northern Mongolia in the last 12500 years as indicated by data of pollen and diatom analyses. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 6(1): 70-83.
- Dykoski C.A, Edwards R.L, Cheng H., et al., 2005. A high-resolution, absolute-dated Holocene and deglacial Asian monsoon record from Dongge Cave, China. *Earth Plant Sci Lett*, 233: 71-86.
- Elsner, J.B., Liu, K.-B., Kocher, B., 2000. Spatial variations in major U.S. hurricane activity: statistics and a physical mechanism. *Journal of Climate* 13, 2293 - 2305.
- Falkowski P.G., 1997. Evolution of the nitrogen cycle and its influence on the biological pump in the ocean. *Nature*, 387: 272-275.
- Fedotova A.P., Chebykina E.P., Semenov M. Yu, 2004. Changes in the volume and salinity of Lake Khubsugul (Mongolia) in response to global climate changes in the upper Pleistocene and the Holocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (209) :245– 257.
- Feng Z.D, An C.B, Tang L.Y, Jull A J T., 2004. Stratigraphic evidence of megahumid mid-Holocene climate in the western part of the Chinese Loess Plateau. *Glob Planet Change*, 43:145-155.
- Feng Z.D, Chen F.H, Tang L.Y., 1998. East Asian monsoon climates and Gobi dynamics in marine isotope stages 4 and 3. *Catena*, (33):29-46.
- Feng Z.D., Ran M., Yang Q L., et al., 2011. Stratigraphies and chronologies of late Quaternary loess-paleosol sequences in the core area of the central Asian arid zone. *Quaternary*

International, 240:156-166

- Feng Z.D., Tang L.Y., Ma Y.Z., Zhai Z.X., Wu H.N., Li F., Zou S.B., Liu K.B., 2007. Vegetation variations and associated environmental changes during marine isotope stage 3 in the western part of the Chinese Loess Plateau. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 246:278–291.
- Fowell S.J., Hansen B., Peck, J.A., Khosbayar, P., Ganbold, E., 2003. Mid to late Holocene climate evolution of the Lake Telmen Basin, North Central Mongolia, based on palynological data. *Quaternary Research* 59(3): 353-363.
- Geel B.V., Bokovenko N.A., Burova, N.D., Chugunov, K.V., and others, 2004. Climate changes and the expansion of the Scythian culture after 850 BC: a hypothesis. *Journal of Archaeological Sciences*, 31:1753-1742.
- Georg Mische, Frank Schlütz, Sabine Mische, 2007. Mountain forest islands and Holocene environmental changes in Central Asia: A case study from the southern Gobi Altay, Mongolia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, (250): 150–166.
- GRIP Project Members, 1993. Climatic instability during the last interglacial period recorded in the GRIP ice core. *Nature*, 366: 203-207.
- Groote P.M., Stuiver M., White J.W.C., et al., 1993. Comparison of oxygen isotope records from the GISP2 and GRIP Greenland ice cores. *Nature*, 366: 552-554.
- Hendy I.L., and J.P. Kennett, 1999. Latest Quaternary North Pacific surface-water responses imply atmosphere-driven climate instability, *Geology*, 27: 291–294.
- Heorling M.P., Hurrell J.W. and Xu T., 2001. Tropical origins for recent North Atlantic climate change. *Science*, 292: 90-92.
- Hong Y.T., Hong B., Lin Q.H., Shibata Y., Zhu Y.X., Leng X.T., Wang Y., 2009. Synchronous climate anomalies in the western North Pacific and North Atlantic regions during the last 14,000 years. *Quaternary Science Reviews* 28:840-849.
- Hu C.Y., Henderson G. M., Huang J. H., Xie S.C., Sun Y. & Johnson K. R. , 2008. Quantification of Holocene Asian monsoon rainfall from spatially separated cave records. *Earth and Planetary Science Letters* 266: 221-232.
- Huang X.Z., Chen F.H., Fan Y.X., 2009. Dry late-glacial and early Holocene climate in arid central Asia indicated by lithological and palynological evidence from Bosten Lake, China. *Quaternary International*, 194:19-27.
- Ian Boomer, Nikolai Aladin, Igor Plotnikov, 2000. The palaeolimnology of the Aral Sea: a review, *Quaternary Science Reviews*, 19:1259-1278.
- Imbrie J., Hay J.G., Martinson D.S., et al., 1984. The orbital theory of Pleistocene. *Climat:*

- support from a revised Chronology of the marine ^{18}O record. Reidel Pub Company, 269-305.
- Jia J., Xia D., Wang B., Wei H., Liu X., 2011. Magnetic investigation of Late Quaternary loessdeposition, Ili area, China, *Quaternary International* .
- Jiang H.C., Mao X., Xu H.Y., Thompson J., Wang P., 2011. Last glacial pollenrecord from Lanzhou (Northwestern China) and possible forcing mechanisms for the MIS 3climate change in Middle to East Asia. *Quaternary Science Reviews* 30:769-781.
- Jiang Q.F., Shen, J., Liu, X.Q., Zhang, E.L., Xiao, X.Y., 2007. A high-resolution climatic change since Holocene inferred from multi-proxy of lake sediment in westerly area of China. *Chinese Science Bulletin*, 52(14), 1970-1979.
- Jiang Qingfeng, Shen Ji, Liu Xingqi, 2008. Holocene climate reconstructions of Ulungur Lake (Xinjiang, China) inferred from ostracod species assemblages and stable isotopes, *Front. Earth Sci. China* 2(1): 31–40.
- Jiang W.Y., Guo Z.T., Sun X.J., Wu H.B., Chu G.Q., Yuan B.Y., 2006. Reconstruction of climate and vegetation changes of Lake Bayanchagan (InnerMongolia): Holocene variability of the East Asian monsoon. *Quaternary Research*, 65: 411-420.
- Jorg Grunert, Frank Lehmkuhl, Michael Walthe, 2000. Paleoclimatic evolution of the Uvs Nuur basin and adjacent areas (Western Mongolia). *Quaternary International*, 65/66:171-192.
- Kim J.-H., Rimbu N., Lorenz, S.J., Lohann, G., Nam, S.-I., Schouten, S., Ruhlemann, C. And Schneider, R.R., 2004. North Pacific and North Atlantic sea-surface temperature variability during the Holocene. *Quaternary Science Reviews*, 23: 2141-2154.
- Kong Ping, David Fink, Chunguang N, 2009. Late Quaternary glaciation of the Tianshan, Central Asia, using cosmogenic ^{10}Be surface exposure dating. *Quaternary Research*, 72: 229–233
- Kremenetski C., Liu K.-B., MacDonald G.M, 1998. Late Quaternary dynamics of pines in northern Asia. In (Richardson ed.): *Ecology and Biogeography of Pines*. Cambridge University Press, NY.
- Kremenetski C.V., Tarasov P.E. and Cherkinsky A.E., 1997. The latest Pleistocene in southwestern Siberia and Kazakhstan. *Quaternary International*, 41/42: 125-134.
- Lehmkuhl F, Haselein F, 2000. Quaternary paleoenvironmental change on the Tibetan Plateau and adjacent areas(western china and western Mongolia). *Quaternary International*, 65 / 66: 121-145.
- Li C.H., Wu Y.H., Hou X. H., 2011. Holocene vegetation and climate in Northeast China revealed from Jingbo Lake sediment. *Quaternary International* 229, 67-73.

- Li X.Q., Zhou J., Shen J., Weng C.Y., Zhao H.L., Sun Q.L., 2004. Vegetation history and climatic variations during the last 14 ka BP inferred from a pollen record at Daihai Lake, north-central China. *Review of Palaeobotany and Palynology* 132: 195-205.
- Li Xiaoqiang, Zhao Keliang, John Dodson, Xinying Zhou, 2011. Moisture dynamics in central Asia for the last 15 kyr: new evidence from Yili Valley, Xinjiang, NW China. *Quaternary Science Reviews*, doi: 10.1016
- Liu X.Q., Herzschuh U., Shen J., Jiang Q.F., Xiao X.Y., 2008. Holocene environmental and climatic changes inferred from Wulungu Lake in northern Xinjiang, China. *Quaternary Research* 70:412-425.
- Liu, K.-b., 2004. Paleotemstology: principles, methods and examples from Gulf coast lake sediments. In: Murnane, R.J., Liu, K.-b. (Eds.), *Hurricanes and Typhoons: Past, Present and Future*. Columbia University Press, New York, pp. 13 – 57.
- Liu, K.-b., Fearn, M.L., 2000. Reconstruction of prehistoric landfall frequencies of catastrophic hurricanes in northwestern Florida from lake sediment records. *Quaternary Research* 54, 238 – 245.
- Lorius C, Jouzel J, Ritz C, 1985. A 150000 year climatic record from Antarctica. *Nature*, 316: 591-596.
- Lu H.Y., Wu N.Q., Liu K.B., Zhu L.P., Yang X.D., Yao T.D., Wang L., Li Q., Liu X.Q., Shen C.M., Li X.Q., Tong G.B., Jiang H. 2011. Modern pollen distributions in Qinghai-Tibetan Plateau and the development of transfer functions for reconstructing Holocene environmental changes. *Quaternary Science Reviews* 30: 947-966.
- Luo C.X., Zheng Z., Tarasov P., 2009. Characteristics of the modern pollen distribution and their relationship to vegetation in the Xinjiang region, northwestern China, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 153:282-295.
- Luo Chao, Yang Dong, Peng Zicheng, 2008. Multi-proxy evidence for late Pleistocene-Holocene climatic and environmental changes in Lop-Nur, Xinjiang, Northwest China. *Chin. J. Geochem*, 27:257-264.
- Ma Y.Z., Liu K.B., Feng Z.D., Sang Y.L., Wang W., Sun A.Z., 2008. A survey of modern pollen and vegetation along a south-north transect in Mongolia. *Journal of Biogeography*, 35: 1512–1532.
- Manfred Rsch, Elske Fischer, Tanja Mrkle, 2005. Human diet and land use in the time of the Khans-Archaeobotanical research in the capital of the Mongolian Empire, Qara Qorum, Mongolia. *Veget Hist Archaeobot*, (14):485–492.
- Marchitto T.M., W. B. Curry, and D. W. Oppo, 1998. Millennial scale changes in North Atlantic

- circulation since the last glaciation. *Nature*, 393: 557–561.
- Mayewski P A, Rohling E E, Stager J C, et al., 2004. Holocene climate variability. *Quaternary Research*, 62:243-255.
- Mayewski P.A., Meeker L.D., Twickler M.S., et al., 1997. Major features and forcing of high latitude northern hemisphere atmospheric circulation over the last 110,000 years, *Journal of Geophysical Research*, 102(26):345-366.
- McCloskey, T.A., Keller, G., 2009. 5000 year sedimentary record of hurricane strikes on the central coast of Belize. *Quaternary International* 195, 53 – 68.
- McCloskey, T.A., Knowles, J.T., 2009. Migration of the tropical cyclone zone through the Holocene. In: Elsner, J.B., Jagger, T.H. (Eds.), *Hurricanes and Climate Change*. Springer, New York, pp. 169 – 188.
- Michele Koppesa, Alan R. Gillespiea, Raymond M. Burkeb, Stephen C. Thompsonc, John Stonea 2008, Late Quaternary glaciation in the Kyrgyz Tien Shan. *Quaternary Science Reviews* 27 : 846–866
- Moore P.H., Webb J.A., Collinson M.E., 1991. *Pollen Analysis* (2nd). Blackwell Scientific Publications, London.
- Natalia Rudaya, Pavel Tarasov, Nadezhda Dorofeyuk, 2009. Holocene environments and climate in the Mongolian Altai reconstructed from the Hoton-Nur pollen and diatom records: a step towards better understanding climate dynamics in Central Asia. *Quaternary Science Reviews* (28) :540–554.
- Pachur H.J., Wünnemann B. and Zhang H.C., 1995. Lake evolution in the Tengger Desert, Northwestern China ,during the last 40,000 years. *Quaternary Research*, 44: 171-180.
- Pardoe H.S., 2001. The representation of taxa in surface pollen spectra on alpine and sub-alpine glacier forelands in southern Norway. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 117:63-78.
- Pavel E, Tarasov, Joel Guiot, Rachid Cheddadi, 1999. Climate in northern Eurasia 6000 years ago reconstructed from pollen data. *Earth and Planetary Science Letters*, 171 : 635-645.
- Peck J.A., Khosbayar P., Fowell S.J., Pearce R.B., Ariunbileg S., Hansen B., Soninkhishig N., 2002. Mid to Late Holocene climate change in north central Mongolia as recorded in the sediments of Lake Telmen. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 183(1-2):135-153.
- Peterson L.C., G.H. Haug, K. A. Hughen, and U. Rohl, 2000. Rapid changes in the hydrologic cycle of the tropical Atlantic during the last glacial, *Science*, 290:1947-1951.
- Poter S., An Z, 1995. Correlation between climate events in the North Atlantic and China during

the last glaciation. *Nature*, 375:305-308.

- Prentice I.C., Webb T., 1998. Biome 6000: reconstructing global Mid-Holocene vegetation patterns from palaeoecological records. *J. Biogeog.*, 25.
- Prokopenko A.S., Khursevich G.K., Bezrukova E.V., Kuzmin M.I., Boes V., Williams D.F., Fedenya S.A., Kulagina N.V., Letuniva P.P., Abzaeva A.A., 2007. Paleoenvironmental proxy records from lake Hovsgol, Mongolia, and a synthesis of Holocene climate change in the Lake baikal Watershed. *Quaternary Research*, 68: 2-17.
- Rea D.K. and Hovan, S.A., 1995. Grain size distribution and depositional processes of the mineral component of abyssal sediments: Lessons from the Pacific. *Paleoceanography*, 10: 251-258.
- Rhodes T.E., Gasses F., Lin, R.F., Fontes, J.C., Wei, K.Q., Bertrand, P., Gibert, E., Melieres, F., Tucholka, P., Wang, Z.X. and Cheng, Z.Y., 1996. A Late Pleistocene-Holocene record from Lake Manas, Sunggar (northern Xinjiang, western China). *Paleogeography Paleoclimatology Paleoecology*, 120: 105-121.
- Richard D. Ricketts, Thomas C. Johnson, Erik T. Brown, Kenneth A. Rasmussen, Vladimir V. Romanovsky, 2001. The Holocene paleolimnology of Lake Issyk-Kul, Kyrgyzstan: trace element and stable isotope composition of ostracodes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 176: 207-227.
- Ruth Beer, Franziska Kaiser, Kaspar Schmidt, 2008. Vegetation history of the walnut forests in Kyrgyzstan (Central Asia): natural or anthropogenic origin? *Quaternary Science Reviews*, 27:621-632.
- Sachs J.P., and S. J. Lehman, 1999. Subtropical North Atlantic temperatures 60,000 to 30,000 years ago, *Science*, 286:756-759.
- Sarah J.F., Barbara C.S., John A.P., et al., 2003. Mid to late Holocene climate evolution of the lake telmen basin, north central Mongolia, based on palynological data. *Quaternary Research*, 59(3):353-363.
- Shen C.M., Liu K.B., Morrill C., Overpeck J.T., Peng J.L., Tang L.Y., 2008. Ecotone shift and major droughts during the mid-late Holocene in the central Tibetan Plateau. *Ecology* 89: 1079-1088.
- Shen C.M., Tang L.Y., Wang S.M., Li C.H., Liu K.B., 2005. Pollen records and time scale for the RM core of the Zoige Basin, northeastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Chinese Science Bulletin* 50: 553-562.
- Singer C., Shulmeister J., McLea B., 1998. Evidence against a significant Younger Dryas cooling event in New Zealand. *Science*, 281:812-814.
- Sorrel P., Popescu S., Klotz S., Suc J. And Oberhansli H., 2007. Climate variability in the Aral

- Sea basin during the late Holocene based on vegetation changes. *Quaternary Research*, 67: 357-370.
- Steig E.J., 1999. Mid-Holocene climate change. *Science*, 286:1485-1487.
- Stumpf A.J., Broster B.E., Levson V.M., 2000. Multiphase flow of the Late Wisconsinan Cordilleran ice sheet in wealern Canada. *Bulletin of the Geological Society of America*, 112: 1850-1863.
- Sun Jimin, Ye Jie, Wu Wenyu, Ni Xijun, BiShundong, Zhang Zhenqing, Liu Weiming, and Meng Jin, 2010. Late Oligocene–Miocene mid-latitude aridification and wind patterns in the Asian interior. *Geology*, 38(6):515-518.
- Tang L.Y., Shen C.M., Li C.H., Peng J.L., Liu H., Liu K.B., Morrill C., Overpeck J., Coel J., Yang B. 2009. Pollen-inferred vegetation and environmental changes in the central Tibetan Plateau since 8200 yr BP. *Science in China Series D: Earth Sciences* 52:1104-1114.
- Tarasov P., Bezrukova E., Karabanov E., Nakagawa T., Wagner M., Kulagina N., Letunova P., Abzaeva A., Granoszewski W., Riedel, F., 2007. Vegetation and climate dynamics during the Holocene and Eemian interglacials derived from Lake Baikal pollen records. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 252:440-457.
- Tarasov P., Dorofeyuk N., Tseva E.M., 2000. Holocene vegetation and climate changes in Hoton-Nur basin, northwest Mongolia. *Boreas*, 29(2):117-126.
- Tarasov P.E., Bezrukova E.V., Krivonogov S.K. 2009. Late Glacial and Holocene changes in vegetation cover and climate in southern Siberia derived from a 15 kyr long pollen record from Lake Kotokel. *Climate of the Past Discussions* 5: 285-295.
- Tarasov P.E., D.Jolly, J.O. Kaplan, 1997. A continuous late glacial and Holocene record of vegetation changes in Kazakhstan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 136: 281-292.
- Terrence Allen McCloskey, Kam-biu Liu, 2012. A sedimentary-based history of hurricane strikes on the southern Caribbean coast of Nicaragua. *Quaternary Research* 78(3):454-464
- Thornalley D.J.R., Elderfield H., McCave I.N., 2009. Holocene oscillations in temperature and salinity of the surface subpolar North Atlantic. *Nature* 457:711-714.
- Ulrike Herzschuh, 2006. Palaeo-moisture evolution in monsoonal Central Asia during the last 50,000 years. *Quaternary Science Reviews*, 25:163–178.
- Ulrike Herzschuh, Birks J., Mischke S., Zhang C.J., 2009. A modern pollen–climate calibration set based on lake sediments from the Tibetan Plateau and its application to a Late

- Quaternary pollen record from the Qilian Mountains. *Journal of Biogeography*.
- Ulrike Herzschuh, Pavel Tarasov, Bernd Wu nmemann, Kai Hartmann, 2004. Holocene vegetation and climate of the Alashan Plateau, NW China, reconstructed from pollen data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 211: 1-17.
- Wallace J.M. and Gulzler D.S., 1981. Teleconnection in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Monthly Weather Reviews*, 109: 784-812.
- Wang S.Y., Lü H.Y., Liu J.Q., 2007. The early Holocene optimum inferred from a high-resolution pollen record of Huguangyan Maar Lake in southern China. *Chinese Science Bulletin* 52:2829-2836.
- Wang W., Ma Y.Z., Feng Z.D., Narantsetseg T., Liu K.B., Zhai X.W., 2011. A prolonged dry mid-Holocene climate revealed by pollen and diatom records from Lake Ugii Nuur in central Mongolia. *Quaternary International* 229: 74-83.
- Wang X.Y., Zhang G.S., Wu L., Zhang X.H., Zhang E.L., Xiao X.Y., Jiang Q.F. , 2008. Environmental changes during early-middle Holocene from the sediment record of the Chaohu Lake, Anhui Province. *Chinese Science Bulletin* 53:153-160.
- Wang Y.J., Cheng H., Edwards R.L., et al., 2001. A high-resolution absolute-dated late Pleistocene Monsoon record from Hulu Cave, China. *Science*, 294: 2345–2348.
- Wang Y.J., Cheng H., Edwards R.L., He Y.Q., Kong X.G., 2005. The Holocene Asian monsoon: links to solar changes and North Atlantic climate. *Science* 30(8):854-857.
- Wei H.C., Ma H.Z., Zheng Z., Pan A.D., Huang K.Y., 2010. Modern pollen assemblages of surface samples and their relationships to vegetation and climate in the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau, China. *Review of Palaeobotany and Palynology* 163: 237-246.
- Wei Haitao, Xia Dunsheng, Chen Fahu, 2009. Magnetic characteristics of topsoil from Xinjiang, Northwestern China, and their implications. *Front. Earth Sci. China*, 3(3): 259–265.
- Wen R.L., Xiao J.L., Chang Z.G., Zhai D.Y., Xu Q.H., Li Y.C., 2010. Holocene climate changes in the mid-high-latitude-monsoon margin reflected by the pollen record from Hulun Lake, northeastern Inner Mongolia. *Quaternary Research* 73:293-303.
- William J. Fletcher, Maria Fernanda Sanchez Goni, Judy R.M. Allen, et, al., 2010. Millennial-scale variability during the last glacial in vegetation records from Europe. *Quaternary Science Reviews* 29:2839-2864.
- William J. Fletcher, Maria Fernanda Sanchez Goni, Judy R.M. Allen, et, al., 2010. Millennial-scale variability during the last glacial in vegetation records from Europe. *Quaternary Science Reviews* 29:2839-2864.
- Winograd I.J., 2001. The magnitude and proximate cause ice sheet growth since 35000yr BP.

- Quaternary Research, 56:299-307.
- Wu H.N., Ma Y.Z., Feng Z.D., Sun A.Z., Zhang C.J., Li F., Kuang J., 2009. A high resolution record of vegetation and environmental variation through the last ~25000 years in the western part of the Chinese Loess Plateau. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 273.
- Xu Q.H., Li Y.C., Tian F., Cao X.R., Yang X.L., 2009. Pollen assemblages of tauber traps and surface soil samples in steppe areas of China and their relationships with vegetation and climate. *Review of Palaeobotany and Palynology* 153:86-101.
- Xu Q.H., Li Y.C., Yang X.L., Zhen Z.H., 2007. Quantitative relationship between pollen and vegetation in northern China. *Science in China (Series D: Earth Sciences)* 50: 582-599.
- Xu Q.H., Xiao J.L., Li Y.C., Tian F., Nakagawa T., 2010. Pollen-Based Quantitative Reconstruction of Holocene Climate Changes in the Daihai Lake Area, Inner Mongolia, China. *Journal of Climate* 23: 2856-2868.
- Xue J. B., Zhong W., 2010. Holocene climate variation denoted by Barkol Lake sediments in northeastern Xinjiang and its possible linkage to the high and low latitude climates. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*.
- Yang B., Tang L.Y., Li C.H., Shao Y.J., Tao S.C., Yang L.Q., 2010. An ice-core record of vegetation and climate changes in the central Tibetan Plateau during the last 550 years. *Chinese Science Bulletin* 55:1169-1177.
- Yang Xiaoping, Louis Scuderi, Philippe Paillou, Ziting Liu, Hongwei Li, Xiaozong Ren, 2011. Quaternary environmental changes in the drylands of China: A critical review. *Quaternary Science Reviews*.
- Yu Ge, Ke Xiankun, Bin Xue, et al., 2004. The relationship between the surface arboreal pollen and the plants of the vegetation in China. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 129:187-198.
- Zhang C.J., Feng Z.D., Yang Q.L., Gou X.H., Sun F.F., 2010. Holocene environmental variations recorded by organic-related and carbonate-related proxies of the lacustrine sediments from Bosten Lake, northwestern China. *The Holocene* 20: 363-373.
- Zhang H.C., B. Wunnemann, Y.Z. Ma, J.L. Peng, H.J. Pachur, Li, JJ., Qi, Y., Chen, GJ., Fang, HB. and Z.-D. Feng, 2004. Later Quaternary paleolake levels in the Tengger Desert, NW China. *Paleogeography Paleoclimatology Paleoecology*, 211: 45-58.
- Zhang K., Zhao Y., Yu Z.C., Zhou A.F. 2010. A 2700-year high resolution pollen record of climate change from varved Sagan Lake in the Qaidam Basin, northeastern Tibetan Plateau. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 297, 290-298.

- Zhao Y. & Herzschuh U., 2009. Modern pollen representation of source vegetation in the Qaidam Basin and surrounding mountains, north-eastern Tibetan Plateau. *Vegetation History and Archaeobotany* 18: 245-260.
- Zhao Y., Chen F.H., Zhou A.F., Yu Z.C., Zhang K., 2010. Vegetation history, climate change and human activities over the last 6200 years on the Liupan Mountains in the southwestern Loess Plateau in central China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 293: 197-205.
- Zhao Y., Yu Z.C., Zhao W.W., 2011. Holocene vegetation and climate histories in the eastern Tibetan Plateau: controls by insolation-driven temperature or monsoon-derived precipitation changes? *Quaternary Science Reviews* 30:1173-1184.
- Zhou L.P., Dodonov A.E. and Shackleton N.J., 1995. TL dating of the Orkutsay loess section in Tashkent region, Uzbekistan, Central Asia. *Quaternary Science Reviews*, 14: 721-730.
- Zhou W.J., Zheng Y. H., Meyers P. A., Jull A.J.T., 2010. Postglacial climate-change record in biomarker lipid compositions of the Hani peat sequence, Northeastern China. *Earth and Planetary Science Letters* 294:37-46.
- 方小敏, 史正涛, 杨胜利, 等. 2002, 天山黄土和古尔班通古特沙漠发育及北疆干旱化. *科学通报*, 47: 540-545
- 郭兰兰, 冯兆东, 李心清, 刘连友, 王丽霞, 2007, 鄂尔多斯高原巴汗淖湖泊记录的全新世气候变化. *科学通报*, 52(5):584-590.
- 黄昌庆, 2012, 末次冰期以来中亚干旱区孢粉记录的环境变化, 兰州大学.
- 黄昌庆, 冯兆东, 马玉贞, 郭兰兰, 王维, 2009, 巴汗淖孢粉记录的全新世环境变化. *兰州大学学报(自科版)*, 45(4):7-12.
- 黄赐璇, 艾利斯.冯.康波, 让.弗朗索瓦士.多布雷梅, 1993. 西藏西部表土花粉研究. *干旱区地理*, 16(4):75-83.
- 蒋庆丰, 刘兴起, 沈吉, 2006. 乌伦古湖沉积物粒度特征及其古气候环境意义. *沉积学报*, 24(6):877-882.
- 李春海, 唐领余, 冯兆东等, 2006. 甘肃静宁地区晚更新世晚期高分辨率的孢粉纪录及其反映的气候变化. *中国科学(D辑)*, 36(5): 453-460.
- 李吉均, 1990, 中国西北地区晚更新世以来环境变迁模式. *第四纪研究*, (3):197-204
- 李江风, 1991. *新疆气候*. 北京: 气象出版社.
- 李江风, 袁玉江, 由希尧等, 2000. *树木年轮水文学研究与应用*. 北京: 科学出版社.
- 李文漪, 阎顺, 1990. 柴窝堡盆地第四纪孢粉学研究. 见:施雅凤等编, *新疆柴窝堡盆地*

- 第四纪气候环境变迁及水文地质事件. 北京:海洋出版社, 46-72.
- 李文漪, 姚祖驹, 1990. 表土中松属花粉与植物间数量关系的研究. 植物学报, 32 (12): 943-950.
- 李文漪, 1991. 云杉花粉散播效率问题. 植物学报, 33 (10): 792-800.
- 李月丛, 许清海, 阳小兰等, 2005. 中国草原区主要群落类型花粉组合特征. 生态学报, 第 25 卷第 3 期.
- 林瑞芬, 卫克勤, 程致远, 王志祥, 1996. 新疆玛纳斯湖沉积柱样的古气候古环境研究. 地球化学, 25 (1): 63-72.
- 刘东生, 安芷生, 陈明扬等, 1996. 最近 0.6Ma 南北半球古气候对比初探. 科学通报, 26 (2): 97-102.
- 刘嘉麒, 倪云燕, 储国强, 2001. 第四纪的主要气候事件. 第四纪研究, 21: 239-248.
- 罗传秀, 潘安定, 郑卓, 2006. 西北干旱地区表土孢粉与植被关系研究进展. 干旱区研究, 23(2): 314-319.
- 罗传秀, 郑卓, 潘安定, 2007. 新疆地区表土孢粉分布规律及其与植被关系研究. 干旱区地理, 30(4): 536-543.
- 吕红华, 李有利, 南峰, 司苏沛, 刘运明, 钱麟, 赵洪壮, 2008. 天山北麓河流阶地序列及形成年代. 地理学报, 63 (1): 65-74
- 吕厚远, 吴乃琴, 刘东生, 韩家楸, 秦小光, 孙湘君, 王永吉, 1996. 150 ka 来宝鸡黄土植物硅酸体组合季节性气候变化. 中国科学 (D 辑), 26 (2): 131-136.
- 马玉贞, 张虎才, 李吉均, 1998. 腾格里沙漠晚更新世孢粉植物群与气候环境演变. 植物学报, 40(9): 871-879.
- 庞奖励, 黄春长, 2000. 青藏高原冰芯记录与黄土堆积和深海沉积记录之对比. 高原气象, 19(4): 504-511
- 彭金兰, 张虎才, 马玉贞, 1998. 腾格里沙漠晚更新世湖相沉积介形类及其环境意义. 微体古生物学报, 15(1): 22-30.
- 秦伯强, 施雅风, 于革, 1997. 亚洲内陆湖泊在 18 kaBP 及 6 kaBP 的水位变化及其指示意义. 科学通报, 42(24): 2586-2596.
- 冉敏, 2012, 中亚干旱区黄土记录的过去 5 万年以来古气候变化历史, 兰州大学.
- 沈吉, 刘兴起, R. Matsumoto 等, 2004. 晚冰期以来青海湖沉积物多指标高分辨率的古气候演化. 中国科学 D 辑, 34(6): 582-589.
- 施雅风, 孔昭宸, 王苏民, 1993. 中国全新世大暖期鼎盛阶段的气候与环境. 中国科学 (B

- 辑),23(8):865-873.
- 施雅风,文启忠,曲耀光等主编,1990.新疆柴窝堡盆地第四纪气候环境变迁和水文地质条件.北京:海洋出版社,1~154.
- 史正涛,董铭,方小敏,2007.伊犁盆地晚更新世黄土-古土壤磁化率特征.兰州大学学报(自然科学版),43:7—10.
- 史正涛,2002.天山黄土与西北内陆干旱化.博士学位论文.
- 宋友桂,史正涛,方小敏,NIE Junsheng,NAOTO Ishikawa,强小科,王旭龙,2010.伊犁黄土的磁学性质及其与黄土高原对比.中国科学,40(1):61~72
- 宋长青,孙湘君,1997.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,39(6):554-560.
- 宋之琛,等编著,1965.孢子花粉分析.北京:科学出版社.
- 孙湘君,杜乃秋,翁成郁等,1994.新疆玛纳斯湖盆周围近14000年以来的古植被环境.第四纪研究,8:239-248.
- 孙湘君,王琚瑜,宋长青,1996.中国北方部分科属花粉-气候响应面分析.中国科学,D辑,26(5):431-436.
- 索玉霞,王正兴,刘闯,于伯华,2009.中亚地区1982年至2002年植被指数与气温和降水的相关性分析.资源科学,31(8):1422-1429.
- 唐领余,李春海,安成邦,汪卫国,2007.黄土高原西部4万多年以来植被与环境变化的孢粉记录.古生物学报,46(1):45-61.
- 陶士臣,安成邦,陈发虎等,2010.孢粉记录的新疆巴里坤湖16.7 cal ka BP以来的植被与环境.科学通报,55(11):1026~1035.
- 王伏雄,钱南芬,张玉龙等,1995.中国植物花粉形态.北京:科学出版社.
- 王开发,王宪曾,1983.孢粉学概论.北京:北京大学出版社.
- 王燕,赵志中,乔彦松等,2006.川北若尔盖高原红原泥炭剖面孢粉记录的晚冰期以来古气候古环境的演变.地质通报,25(7):827-832.
- 文启忠,乔玉楼,1990.新疆地区13000年来的气候序列初探.第四纪研究,4:363-368.
- 翁成郁,孙湘君,陈因硕,1993.西昆仑地区表土花粉组合特征及与植被的数量关系.植物学报,35(1):69~79.
- 吴敬禄,1995.新疆艾比湖全新世沉积特征及古环境演化.地理科学,15(1):39-46.
- 吴敬禄,沈吉,王苏民,2003.新疆艾比湖地区湖泊沉积记录的早全新环境气候特征.中国科学,33(6):569-575.

- 吴征镒等, 1995. 中国植被. 北京: 科学出版社.
- 夏敦胜, 魏海涛, 马剑英, 等. 2006. 中亚地区现代表土磁学特征及其古环境意义. 第四纪研究, 26: 937-946
- 夏敦胜, 陈发虎, 贾佳, 魏海涛, 2010. 新疆伊犁地区典型黄土磁学特征及其环境意义初探. 第四纪研究 30 (5): 902-910.
- 肖霞云, 蒋庆丰, 刘兴起, 肖海丰, 沈吉, 2006. 新疆乌伦古湖全新世以来高分辨率的孢粉记录与环境变迁. 微体古生物学报, 23 (1): 77- 86.
- 许清海, 李月丛, 赵登海等, 2006. 中国北方典型灌丛群落表土花粉组合特征. 古地理学报, 8(2):157-164.
- 许英勤, 阎顺, 贾宝全等, 1996. 天山南坡表土孢粉分析及其与植被的数量关系. 干旱区地理, 19(3):24-30.
- 阎顺, 1993. 新疆表土松科孢粉分布的探讨. 干旱区地理, 16(3):1~9.
- 阎顺, 许英勤, 1989. 新疆阿勒泰地区表土孢粉组合. 干旱区研究, 1:26~33.
- 杨奇丽, 2013, 中亚干旱区 MIS 3 以来黄土地层中生物标志物和单烃碳同位素组成与古气候的响应, 兰州大学.
- 杨志红, 姚檀栋, 皇翠兰等, 1997. 古里雅冰芯中的新仙女木期事件记录. 科学通报, 42(18):1975-1978.
- 姚檀栋, Thompson L.G., 施雅风等, 1997. 古里雅冰芯中末次间冰期以来气候变化记录研究. 中国科学(D 辑), 27(5): 447-452.
- 叶玮, 2001. 新疆西风区黄土沉积特征与古气候. 北京出版社.
- 郑卓, 黄康有, 许清海, 2008. 中国表土花粉与建群植物地理分布的气候指示性对比. 中国科学.
- 中国第四纪孢粉数据库小组, 2001. 表土孢粉模拟的中国生物群区. 植物学报, 43(2): 201-209.
- 中国科学院北京植物研究所古植物研究室孢粉组, 1976. 中国蕨类植物孢子形态.
- 周兴佳编, 1994. 古玛纳斯湖与艾比湖区沙漠化分布图, 新疆第四纪地质与环境. 北京. 中国农业出版社, 208.
- 朱艳, 程波, 陈发虎等, 2004. 石羊河流域现代孢粉传播研究. 科学通报, 49 (1): 15~21.

致 谢

本次研究主要是在中国科学院地球化学研究所博士后项目(博士后编号133912)资助下完成的。此外还部分得到以下项目的联合资助：铜仁学院博士启动基金项目“铜仁市基础地理研究”(DS1201)；贵州省教育厅优秀科技创新人才基金项目“梵净山环境变化与申请世界遗产”(黔教合KY字(2013)151号)；贵州省科学技术基金项目“基于自然遗产价值观的梵净山环境变化研究”(黔科合J字[2013]2273号)；中国国家自然科学基金项目[西风带主导的中亚地区过去50,000年风尘序列生物气候重建(NSF-BCS-0623478)；美国国家自然科学基金项目[Bioclimatic reconstruction of the past 50,000 years from eolian sequences in westerlies-dominated Central Asia (NSF-BCS-06-52304)；"Collaborative Research: Long-term dynamics of Caribbean maritime forest ecosystems in the context of major disturbance events: The role of hurricanes and fires"(BCS-0964043)]。

深深地感谢我的导师李心清研究员的指导和帮助！感谢周会老师在此次博士后研究中对我各方面的指导和帮助！

衷心感谢冯兆东教授和Liu Kam-biu教授在研究工作和研究经费等等各方面的巨大帮助！感谢马玉贞教授、Dr. Nina Lam, Dr. Terrence McCloskey, 郭兰兰博士、冉敏博士和陶士臣博士的帮助！

黄昌庆 2016年11月 于贵阳