

青藏高原沱沱河至昆仑河地区晚更新世以来孢粉记录的古环境信息

赵振明¹, 彭 伟², 邓中林², 李荣社¹, 王毅智², 朱迎堂^{1,3}

ZHAO Zhen-ming¹, PENG Wei², DENG Zhong-lin²,

LI Rong-she¹, WANG Yi-zhi², ZHU Ying-tang^{1,3}

1. 中国地质调查局西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054;

2. 青海省地质调查院, 青海 西宁 810012;

3. 成都理工大学沉积地质研究所, 四川 成都 610059

1. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. Qinghai Institute of Geological Survey, Xining 810012, Qinghai, China;

3. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China

摘要 根据对青藏高原沱沱河流域的雅西错湖湖相沉积、西金乌兰湖岸边的湖相沉积和昆仑河河流相沉积记录的晚更新世以来的孢粉资料的对比分析, 该地区 2 种标志性花粉蒿属(*Artemisia*)、藜科(Chenopodiaceae)的百分含量表现出明显的负相关性, 从南向北、从老到新, 孢粉的种类、乔木花粉的数量逐渐减少, 禾本科(Gramineae)花粉百分含量逐渐降低, 蕨类孢子数量少; 在研究区南部晚更新世早期出现了以白刺属(*Nitraria*)为代表的干旱灌丛草原植被, 在研究区 3~1 万年之间出现了以蒿属、禾本科为代表的干偏湿的草原植被; 总体上, 根据晚更新世的孢粉恢复的古环境, 南部地区比北部地区偏湿。这一特征对恢复青藏高原晚更新世的古环境具有重要的参考意义。

关键词 青藏高原, 沱沱河至昆仑河地区, 孢粉记录, 晚更新世, 古环境

中图分类号: P534.63; Q914.81; X141 文献标识码: A 文章编号: 1671-255X(2006)12-1469-06

Zhao Z M, Peng W, Deng Z L, Li R S, Wang Y Z, Zhu Y T. Paleoenvironmental changes since the late Pleistocene based on sporopollen records in the area from the Tuotuo River-Kunlun River, Qinghai-Tibet Plateau. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(12): 1469-1474

Abstract: Comparative study of the data of the late Pleistocene sporopollen in lacustrine deposits of Yaxi Co Lake in the reaches of the Tuotuo River and lacustrine deposits on banks of the Xijir Ulan Lake and fluvial deposits of the Kunlun River in the Qinghai-Tibet Plateau indicates that there is a pronounced negative correlation in percentages between the two pollen markers *Artemisia* and Chenopodiaceae in the area. From south to north and from older to younger strata, the species of sporopollen and number of arboreal pollen diminished gradually, the percentages of pollen of Gramineae decreased progressively and spores of fern were scarce. The dry shrubs-grassland vegetation represented by *Nitraria* appeared in the southern part of the study area during the early part of the late Pleistocene. Dry-wet grassland vegetation represented by *Artemisia* and Gramineae appeared at 30-10 ka BP in the area. In general, the southern part of the area was wetter than the northern part according to the paleoenvironment reconstructed by the late Pleistocene sporopollen analysis. This feature has great significance for the reconstruction of the paleovegetation and paleoenvironment of the Qinghai-Tibet Plateau during the late Pleistocene.

Key words: Qinghai-Tibet Plateau, Tuotuo River-Kunlun River area; sporopollen records; late Pleistocene; paleoenvironment

收稿日期: 2006-04-26; 修订日期: 2006-09-20

地调项目: 中国地质调查局《青藏高原北部空白区基础地质综合研究》项目(编号: 1212010510110) 1:25 万沱沱河幅(编号: 200213000001) 1:25 万可可西里幅(编号: 20001300009211)和 1:5 万万宝沟等 3 幅(编号: 20001300010071)区域地质调查项目联合资助。

作者简介: 赵振明(1965-), 男, 硕士, 从事新构造、地貌与环境方面的研究。E-mail: xazzhenming@cgs.gov.cn

新生代地层中沉积的孢粉在恢复古植被和古气候中起着重要的作用^[1~10],其中草本植物蒿属(*Artemisia*)、藜科(*Chenopodiaceae*)、禾本科(*Gramineae*)、莎草科(*Cyperaceae*)、菊科(*Compositae*)和灌木植物白刺属(*Nitraria*)、麻黄属(*Ephedra*)花粉是近年来研究第四纪干旱半干旱地区古环境和古气候的花粉百分比图式中重要的组成部分。黄赐璇等^[11]认为藜科、菊科代表气候干旱,蒿属、禾本科、莎草科代表气候湿润。许清海等^[12]认为麻黄是荒漠中的稀疏灌木,是极度干旱荒漠区的代表植被。孙湘君等^[13]指出白刺属、麻黄属为旱生落叶灌木,主要分布于荒漠和荒漠草原地带。李月丛等^[9]应用其他定量化指标进一步研究认为,蒿属、藜科、禾本科、白刺属对植被具有明显的指示意义。

1 研究工作概况

1.1 采样位置

沱沱河流域的雅西错湖位于沱沱河与青藏公路交界处的东边,采样位置位于雅西错湖的北部岸边;西金乌兰湖位于可可西里自然保护区的西边,采样位置位于西金乌兰湖的西部还东河入湖处;昆仑河流域范围比较小,沉积物没有经过长距离的搬运,采样位置位于青办食宿站西温泉沟与昆仑河交接处。对这3个地方的湖相、河流相沉积层采集孢粉样品和年代学样品,三者的位置关系为南北方向(图1)。采集的32个孢粉样品分析结果见表1—表3,样品所处的地层时代为晚更新世。

1.2 样品测试分析结果的可信性

采集的热释光(TL)年代样品,由中国地质科学院环境地质开放研究实验室测试,孢粉样品所处地层时代的结果可信。孢粉样品的分析由中国地质科学院水文地质环境地质研究所第四纪实验室和中国科学院地质与地球物理研究所第

四纪实验室完成。对于3条剖面个别样品孢粉数量较少的情况,笔者详细查阅了昆仑山垭口地区和黄河源区已经公开发表的关于孢粉学的论文^[12,14,15],其中,王绍令^[15]对鄂陵湖北部岸边湖相钻孔晚更新世孢粉资料的分析结果表明,有的层位孢粉数量确实很少,晚更新世(Q_3)11个湖相沉积层位的孢粉样品中,孢粉数量最少的为1粒,最多的为131粒。因此,本文3条剖面的32个孢粉样品分析结果中孢粉数量最少为6粒、最多为140粒的结果是可信的,也就是在该区域晚更新世的某些时段地表植被覆盖很少,另外实验室的实验分析技术也能保证结果可信。根据测定的已知年代数据对临近深度的个别时代进行外推^[16],计算出雅西错湖湖相沉积白刺属花粉完全消失的时代约为44.98 kaBP。

2 孢粉样品分析结果

2.1 乔木花粉

乔木花粉有松属(*Pinus*)、云杉属(*Picea*)、冷杉属(*Abies*)、桤柳科(*Tamaricaceae*)、漆树属(*Rhus*)、榛树属(*Corylus*)、柃属(*Frasinus*)、栎属(*Quercus*)8种,后5种花粉共9粒,对环境的恢复不起作用。云杉属、冷杉属2种花粉在2个湖相沉积剖面中都有,但含量低,总体在20%以下,2个样品松属花粉含量较高,分别为27.7%(26/94)和30.4%(21/69)。李月丛等^[10]认为,云杉、冷杉林中花粉为20%~70%,有松林地带松花粉百分比高于30%,平均42.5%;李小强等^[17]也赞成30%以下为无松林。因此,松属、云杉属、冷杉属3种花粉和上述后5种花粉均为沱沱河南部、东南部地区远距离传送来的区外植物花粉。

2.2 灌木花粉

旱生落叶灌木花粉白刺属、麻黄属分布于荒漠、荒漠草原地带,麻黄属在4个样品中出现,百分含量较低,是干旱环

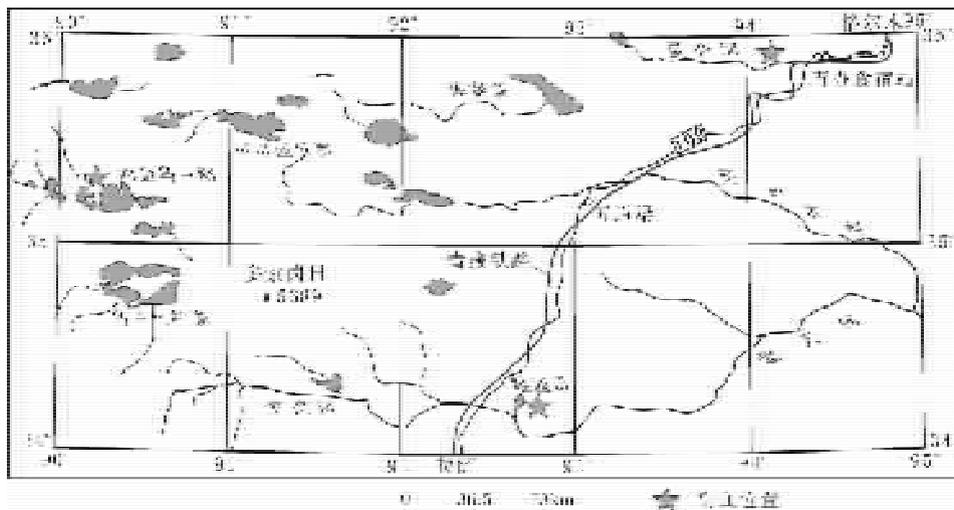


图1 孢粉样品剖面位置图

Fig.1 Location map of sporopollen sample sections

表1 沱沱河流域雅西错湖湖相沉积剖面孢粉数据和年代
 Table 1 Sporopollen data and age of the section of lacustrine deposits
 in Yaxi Co in the Tuotuo River valley

层号	岩性	层厚/cm	深度/cm	地层时代/kaBP	总数/粒	木本植物花粉						草本植物花粉					小蘗科	植被	气候		
						松属	云杉属	冷杉属	桧属	漆树属	白刺属	麻黄属	蒿属	藜科	禾本科	莎草科				豆科	毛茛科
1	砂土层	5	5		23	1			1				3	1	8	6	2	1			
2	砂砾层	17	22		9								5	2	2						
3	砂砾层	10	32		10								6	1	3						
4	细砂层	9	41	TL27.94±2.33	7								3	2	1						
5	泥层	8	49		54	4							33	11	3	3					
6	泥层	8	57		12	1			1				6	3	1						
7	粘土层	9	66	(约44.98)	6								3	1	2						
8	砂土层	16	82		16	2	1						8	3	1						
9	砂土层	15	97		36	7	2						2	13	4						
10	泥层	13	110		45	4	1						6	3	3		1				
11	泥层	15	125		82	7	2	1					7	8	3		2	1	1		
12	泥层	12	137		94	26	7	2	1	2	45	1	2	3	1		1		1	2	
13	泥层	18	155		69	21	3			1	36		5	1	1						

注:热释光样品由中国地质科学院环境地质开放研究实验室测试,孢粉分析由中国地质科学院水文地质环境地质研究所第四纪实验室完成

表2 西金乌兰湖西侧湖相沉积剖面孢粉数据和年代
 Table 2 Sporopollen data and age of the section of lacustrine deposits
 on the western side of the Xijir Ulan Lake

层号	岩性	层厚/cm	深度/cm	地层时代/kaBP	总数/粒	木本植物花粉						草本植物花粉							蕨类卷柏属	A/C值	植被	气候		
						松属	云杉属	桧属	漆树属	白刺属	麻黄属	蒿属	藜科	禾本科	毛茛科	豆科	玄参科	唐松草属					唇形科	蓼属
1	泥砂层	90	90		130	3	6			12	2	26	75	1	2	1	1		1			0.35		偏湿 干旱
2	泥层	105	195		140	3	2			23	3	7	96	2	1	2	1					0.07		
3	泥层	30	225		6	1	1					1	2					1				0.50		
4	粉砂层	315	540	TL46.05±0.47	59	1	3	2	2	2	2	2	36	4		1		1		2	1	0.06		
5	泥层	25	565		19	2	1		1			4	9	1								0.44		
6	泥层	40	605		8	1	1					3	2	1								1.50	荒漠	
7	泥层	75	680		6		1					2	2	1								1.00	草原	
8	泥层	104	784	TL49.53±4.95	9		2					3	1	1	2							/		
9	粉砂层	55	839		18		1					2	13		1			1				0.15		
10	泥层	18	857		9	1	1					1	2	1	1	1					1	0.50		
11	粉砂层	23	880		8		2					2	3		1							0.67		
12	泥层	5	885		6		1					1	1	1		1				1		/		
13	粉砂层	15	900	TL86.19±7.33	7		1					2	1		1	1			1			/		

注:热释光样品由中国地质科学院环境地质开放研究实验室测试,孢粉分析由中国地质科学院水文地质环境地质研究所第四纪实验室完成

境中生长的植物。白刺属花粉在雅西错湖、西金乌兰湖2条剖面中出现,而且含量较高(表4),在昆仑河剖面中没有,反映研究区的南部地区在晚更新世早期出现了以白刺属为代表的干旱灌丛草原植被。

2.3 草本植物花粉

研究区草本植物花粉占的比例较大,对古植被的恢复起主要作用,除莎草科(Cyperaceae)、豆科(Leguminosae)、毛茛科(Ranunculaceae)、唐松草属(Thalictrum)、小蘗科(Berberi-

表3 昆仑河河流相沉积剖面孢粉数据和年代

Table 3 Sporopollen data and age of the section of fluvial deposits of the Kunlun River

层号	岩性	层厚/cm	深度/cm	地层时代/kaBP	孢粉总数/粒	草本植物花粉					A/C值	植被	气候
						蒿属	藜科	禾本科	唐松草属	豆科			
1	砾石层	80	80	TL10.90±0.50(底部)	21	11	8	2			1.38	荒漠草原	干旱
2	砂砾层	40	120		19	13	5	1		2.60			
3	砂土层	100	220	TL28.01±2.92	23	18	3	2		6.00			
4	黄土层	78	298		18	6	11	1		0.55			
5	砂土层	100	398	TL29.16±2.55	18	7	9	2		0.78			
6	砂土层	90	488		25	9	12	2	1 1	0.75			

注:热释光样品由中国地质科学院环境地质开放研究实验室测试,孢粉分析由中国科学院地质与地球物理研究所第四纪实验室完成

表4 研究区标志性花粉百分比数据

Table 4 Percentage data of marker pollen analysis in the study area

沱沱河流域雅西错湖相沉积						西金乌兰湖西侧湖相沉积						昆仑河河流相沉积				
层号	总数/粒	蒿属/%	藜科/%	禾本科/%	白刺属/%	层号	总数/粒	蒿属/%	藜科/%	禾本科/%	白刺属/%	层号	总数/粒	蒿属/%	藜科/%	禾本科/%
1	23	13.0	4.3	34.8		1	130	20.0	57.7	0.8	9.2	1	21	52.4	38.1	9.5
2	9	55.6	22.2	22.2		2	140	5.0	68.6	1.4	16.4	2	19	68.4	26.3	5.3
3	10	60.0	10.0	30.0		3	6	16.7	33.3			3	23	78.3	13.0	8.7
4	7	42.9	28.6	14.3		4	59	3.4	61.0	6.8	3.4	4	18	33.3	61.1	5.6
5	54	61.1	20.4	5.6		5	19	21.1	47.4	5.3		5	18	38.9	50.0	11.1
6	12	50.0	25.0	8.3		6	8	37.5	25.0	12.5		6	25	36.0	48.0	8.0
7	6	50.0	16.7	33.3		7	6	33.3	33.3	16.7						
8	16	50.0	18.8	6.3	6.3	8	9	33.3	11.1	11.1						
9	36	5.6	36.1	11.1	22.2	9	18	11.1	72.2							
10	45	13.3	6.7	6.7	60.0	10	9	11.1	22.2	11.1						
11	82	8.5	9.8	3.7	61.0	11	8	25.0	37.5							
12	94	2.1	3.2	1.1	47.9	12	6	16.7	16.7	16.7						
13	69	7.2	1.4	1.4	52.2	13	7	28.6	14.3							

daceae) 玄参科(Scrophulariaceae)唇形科(Labiaceae)蓼属(Polygonum)和茄科(Solanaceae)种花粉不占主导地位外,蒿属、藜科、禾本科3种花粉为主要组成部分,这3种花粉分别占每个样品孢粉总数的百分比见表4。

研究区从南向北乔木花粉逐渐减少,灌木花粉逐渐增多;当乔木花粉消失时,灌木花粉逐渐减少,草本植物花粉逐渐增多;当灌木花粉消失时,则草本植物花粉占主导地位。

2.4 蕨类孢子

蕨类孢子只在西金乌兰湖剖面中出现,2个层位的2个样品分别含卷柏属(Selaginella)1粒,对植被的恢复和环境气候的分析没有意义。

3 古环境与古植被的恢复

3.1 垂直自然带、孢粉浓度和百分比

研究区现今的海拔高度在4500~4700 m之间,位于同一个垂直自然带,即使晚更新世以来在该地区存在差异性隆升,按照最大的隆升速率^[18],引起的垂直高差也不超过100 m。

根据黄秉维等^[19]的研究,500 m以上的相对高度足以引起生物、气候的垂直变化,因此,本文讨论的晚更新世以来南北方向植被的演化特征不受垂直自然带不同的影响。

在现有孢粉研究成果中,已引入孢粉浓度这一指标来分析单位质量中孢粉总数的变化。本项工作湖相、河流相2种沉积类型的孢粉样品分析时选取的质量相同,在计算孢粉浓度时“分母”是相同的,因此孢粉总数的变化在一定程度上代表了浓度的变化。

刘东生等^[20]编译的《第四纪环境》中提到:在统计孢粉个体多少时,要注意2个问题,一是主要种属相对百分比的结果,二是样品中实际包含的种属数,统计550粒孢粉以保证各种属有适当的比例,150粒的统计数量则是绝对的最低数。对于这段话,笔者进行了多次分析后认为,150粒的统计下限是针对孢粉样品中孢粉个数足够多的情况下而言的,如果小于一个基数,那么百分含量的数值就欠准确,尤其是进行该学科的理论方法和理论指标研究时需要注意。但是,在干旱和半干旱地区的少数孢粉样品中,把所有的孢粉个数统计完,

总数也低于100粒,那么,讨论在干旱和半干旱气候的大环境下某个时段偏干还是偏湿及其变化规律,就应该把孢粉百分比与种属数的变化尽量结合起来。

3.2 研究区古环境与古植被的恢复

为了能够清楚地比较3条剖面蒿属、藜科、禾本科3种主要花粉和白刺属花粉的变化特征,首先计算出这4种花粉分别占每个样品孢粉总数的百分比(表4),然后绘制成曲线(图2)。图2中横坐标为时代从新到老的样品,纵坐标为百分比。

雅西错湖湖相沉积主要花粉百分含量中,在白刺属9~13号样品高值区的时段,其他3种花粉为低值;当白刺属降低到消失,即8号样品以后,蒿属为明显的高值区,藜科较蒿属低,禾本科与藜科的平均值接近,但禾本科与其他2条剖面的值比较高。

西金乌兰湖西侧湖相沉积主要花粉百分含量中,灌木白刺属在局部地区出现——灌木与草本相比较需要比较多的水分——见1、2和4号样品,白刺属花粉在样品中的含量与雅西错湖湖相沉积剖面晚更新世早期白刺属花粉的含量相比较,数值很低,同时,在1、2号样品中孢粉总数突然升高,总体上藜科为高值而蒿属较低。据这一特征分析,在总体干旱的情况下,在该剖面反映的时段的末期出现短暂的干偏湿时期,禾本科较雅西错湖剖面降低,总体在17%以下。

昆仑河河流相沉积主要花粉百分含量中,白刺属消失,花粉种属数以蒿属、藜科和禾本科为主,蒿属与藜科为负相关,对于蒿属出现短暂的高值区,由于样品数量较少,无法进一步分析,但禾本科较前2条剖面表现出明显的低值,总体在11%以下,可以初步确定为湿度降低。

综观3条剖面,蒿属与藜科为负相关,证明了在研究区A/C值可以作为环境指标这一大多数研究者已经认可的结论^[4 5 8-10 43],即相对湿润时期,蒿属含量升高而藜科含量降低,相对干旱时期,蒿属含量降低而藜科含量升高。禾本科这一代表气候湿润的花粉在3条剖面的变化规律(即35%以下—17%以下—11%以下)和3条剖面花粉种类的变化规律(即木本—灌木—草本的转变)表明,晚更新世的同时期孢粉恢复的古环境,南部地区比北部地区偏湿。同样,在研究区3~1万年之间,雅西错湖湖相沉积剖面禾本科、莎草科代表气候湿润的花粉增多,西金乌兰湖西侧湖相沉积剖面花粉种类、花粉总数、蒿属含量都增多,昆仑河河流相沉积剖面蒿属含量高

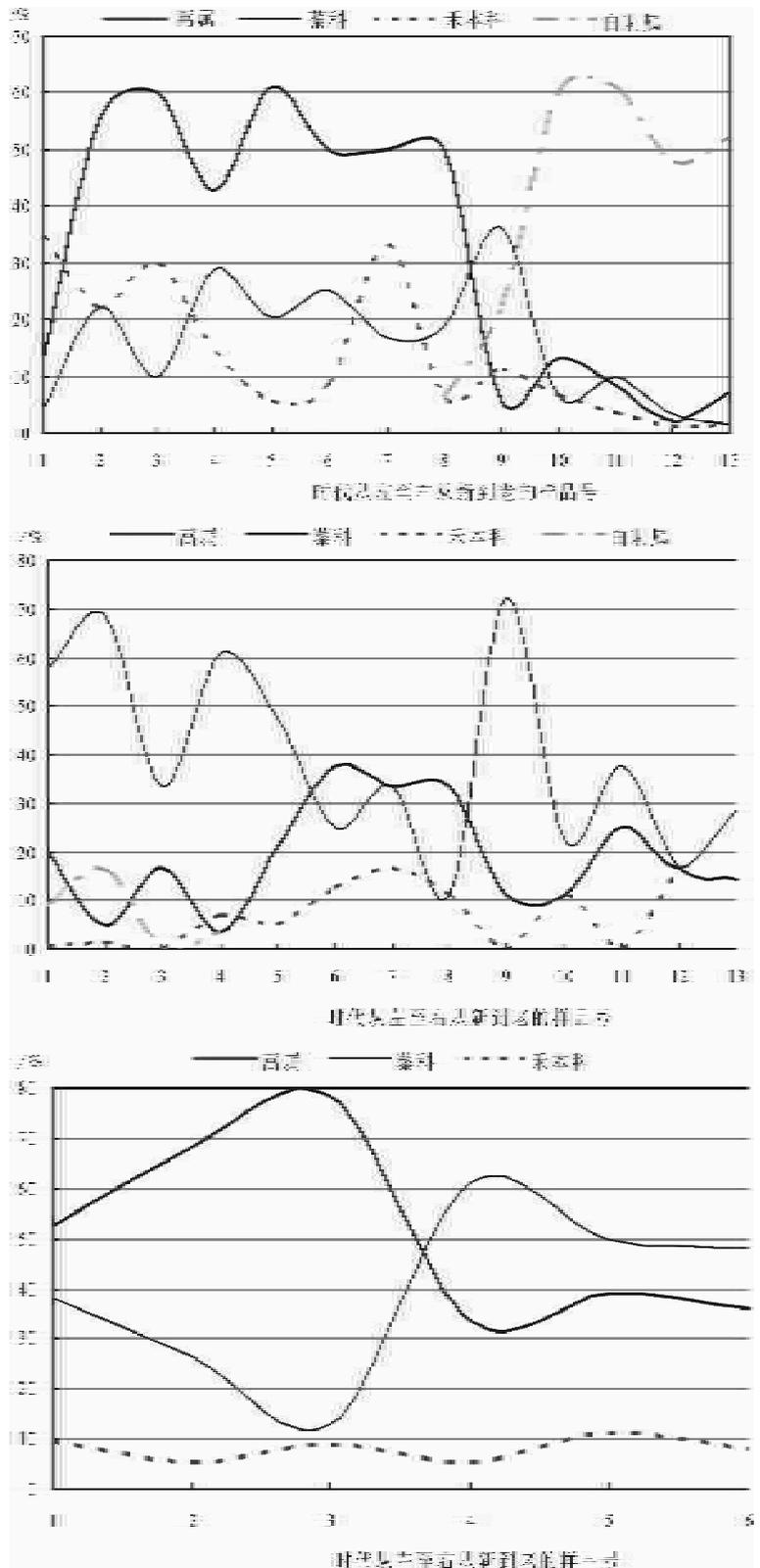


图2 研究区标志性花粉百分含量曲线

Fig.2 Percentage curves of marker pollen in the study area
上图—雅西错湖,中图—西金乌兰湖;下图—昆仑河

于藜科,根据这一特征,在该时期研究区为干偏湿的荒漠草原植被。

以孢粉样品的分析结果对研究区的古环境和古植被的恢复为:南部为干冷灌丛草原—干旱荒漠草原,中部为干偏湿荒漠草原,北部为干旱荒漠草原。

3.3 研究区古植被与区域植被的关系

周昆叔等^[21]认为,藏北从更新世早、中期具有较多森林,到晚更新世后森林几乎绝迹,出现高山草原、草甸景观。唐领余等^[22-24]对青藏高原全新世的植被恢复为:从东南向西北为山地森林—寒冷灌丛与草甸—高寒草原—高山荒漠。笔者根据孢粉恢复的研究区晚更新世以来的古植被与上述规律相似,但是否一直延续到全新世,还要做进一步的研究。

4 结论

青藏高原沱沱河流域的雅西错湖相沉积、西金乌兰湖岸边的湖相沉积、昆仑河河流相沉积记录的晚更新世以来的孢粉资料的对比研究结果表明:①研究区内2种标志性花粉蒿属、藜科的百分含量表现出明显的负相关性;②在研究区内,从南向北、从老到新,孢粉的种类、乔木花粉数量逐渐减少,禾本科花粉百分含量逐渐降低;③根据晚更新世的同时期孢粉恢复的古环境,研究区南部地区比北部地区偏湿;④在研究区南部,晚更新世早期出现了以白刺属为代表的干旱灌丛荒漠草原植被;⑤在研究区内,3~1万年之间出现了以蒿属、禾本科为代表的干偏湿的荒漠草原植被。

参考文献:

- [1]Newsome J C. Pollen-vegetation relationships in semi-arid southwestern Australia[J]. Review of Palaeobotany and Palynology, 1990, 106:103-119.
- [2]Davis B A, Brewer S, Stevenson A C, et al. The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data[J]. Quaternary Science Reviews, 2003, 22:1701-1716.
- [3]El-Moslinmany A P. Ecological significance of common nonarborescent pollen examples from dry lands of the Middle East[J]. Review of Palaeobotany and Palynology, 1990, 64:343-350.
- [4]翁成郁,孙湘君,陈因硕.西昆仑地区表土花粉组合特征及其与植被的数量关系[J].植物学报,1993,35(1):69-79.
- [5]杨振京,徐建明.孢粉-植被-气候关系研究进展[J].植物生态学报,2002,26(增刊):73-81.
- [6]Tang Lingyu, Li Chunhai, Yu Ge, et al. Pollen-based reconstruction of Holocene vegetation and climatic change of Tibetan Plateau[J]. Chinese Journal of Polar Science, 2003, 14(2):99-116.
- [7]许清海,肖举乐,中村俊夫,等.孢粉资料定量重建全新世以来岱海盆地的古气候[J].海洋地质与第四纪地质,2003,23(4):99-108.
- [8]许清海,肖举乐,中村俊夫,等.孢粉记录的岱海盆地15000年以来气候变化[J].第四纪研究,2004,24(3):341-347.
- [9]李月丛,许清海,阳小兰,等.中国荒漠区花粉对植被的指示性研究[J].科学通报,2005,50(13):1356-1364.
- [10]李月丛,许清海,肖举乐,等.中国北方森林植被主要表土花粉类型对植被的指示性[J].第四纪研究,2005,25(5):598-608.
- [11]黄赐璇,冯·康波·艾利斯,李栓科.根据孢粉分析论青藏高原西部和北部全新世环境变化[J].微体古生物学报,1996,13(4):423-432.
- [12]许清海,阳小兰,王子惠,等.晚更新世以来昆仑山垭口的植被与环境[J].微体古生物学报,1996,13(4):387-393.
- [13]孙湘君,杜乃秋,翁成郁,等.新疆玛纳斯湖盆周围近14000年以来的古气候古环境[J].第四纪研究,1994(3):239-248.
- [14]张玉芳,张俊牌,徐建明,等.黄河源区全新世以来古气候演化[J].地球科学,1995,20(4):445-449.
- [15]王绍令,李位乾.黄河源区第四纪地层及古地理环境演化探讨[J].冰川冻土,1992,14(1):45-54.
- [16]刘兴起,沈吉,王苏民,等.青海湖16ka以来的花粉记录及其古气候古环境演化[J].科学通报,2002,47(17):1351-1355.
- [17]李小强,安芷生,周杰,等.全新世黄土高原区植物特征[J].海洋地质与第四纪地质,2003,23(3):109-114.
- [18]赵振明,李荣社.青藏高原北部不同地区河流和湖岸阶地的演化特征[J].地质通报,2006,25(1-2):221-225.
- [19]黄秉维,郑度,赵名茶,等.现代自然地理[M].北京:科学出版社,1999:234-257.
- [20]刘东生,等.第四纪环境[M].北京:科学出版社,1997:119-122.
- [21]周昆叔,李文漪,孔昭宸.我国第四纪孢粉分析的主要收获——第四纪孢粉分析与古环境[M].北京:科学出版社,1984:1-14.
- [22]唐领余,沈才明.青藏高原全新世植被花粉记录[J].微体古生物学报,1996,13(4):407-422.
- [23]唐领余,李春海.青藏高原全新世植被的时空分布[J].冰川冻土,2001,23(4):367-374.
- [24]Tang Lingyu. Temporal-spatial distribution of vegetation in the Qinghai-Xizang Plateau during the past 12kaBP[J]. Acta Botanica Sinica, 2002, 44(7): 872-877.