

内蒙古大青山调角海子地区全新世气候与环境重建研究

杨志荣

(湖南师范大学资源与环境学系, 长沙 410006)

摘要:以全封闭湖泊调角海子湖相沉积的高分辨率采样为基本分析材料,采用孢粉分析、沉积地球化学分析、 ^{14}C 测年等多种分析手段,对调角海子地区全新世气候与环境进行了综合研究。结果表明:全新世气候与环境演化可划分为 5 个阶段,其中后两个阶段又可分为 3 个亚段;全新世大暖期的时代为 9400~3800aBP;全新世大暖期具有二分性;6900~6300aBP 为全新世气候最适宜的鼎盛期,当时气温比现在高 2~3℃,降水量至少高于现代 150~200mm,植被为针阔叶混交林。

关键词:大青山;全新世;环境重建

Reconstruction of climate and environment since the holocene in Diaojiaohaizi Lake Area, Daqing Mountains, Inner Mongolia

YANG Zhi-Rong (*Resources and Environment Department, Hunan Normal University, Changsha 410006, China*)

Abstract: By means of spore-pollen and geochemistry analysing and ^{14}C dating of the sediment of Diaojiaohaizi section, the climate and environment of the Holocene in Diaojiaohaizi area were reconstructed. There are following conclusions:

(1) Climate and environment changes since 11500 aBP in Diaojiaohaizi area can be divided into 5 phases: 11500~10200 aBP, 10200~9400 aBP, 9400~6900 aBP, 6900~3800 aBP and 3800~1900 aBP, and the last two phases can be further divided into 3 subphases separately.

(2) From 11500 to 10200 aBP, the temperature was 5℃ lower than that of today and the vegetation was high mountain frozen desert.

(3) Temperature abruptly rose in 10200~10100 aBP. During 10200~9400 aBP, temperature was only 1~1.5℃ lower and precipitation was 30~50mm higher than those of today. The vegetation was forest steppe.

(4) The Megathermal of the Holocene started in 9400 aBP and ended in 3800 aBP. However the climatic Optimum of the Holocene marked by humidity started in 9200 aBP, and ended in 4000 aBP.

(5) The Megathermal was divided into two parts by 6300 aBP, the climate of the early part was temperate and wet, yet the climate of the late part was relatively warm and dry.

(6) 6900~6300 aBP was a climatic super period of the Megathermal and the Optimum of the Holocene in which temperature was 2~3℃ higher and precipitation was at least 150~200mm more than those of present. The vegetation was needle-leaved and deciduous broad-leaved mixed forest.

(7) During 6300~3800 aBP, climate was relatively warm and dry, temperature was 2~3℃ higher and precipitation was 150mm more than those of today and the vegetation was needle-leaved and deciduous and broad-leaved mixed forest with *Pinus* as the main kind of trees.

基金项目:国家“八五”攀登计划(85-27-1)资助项目

收稿日期:1999-02-27 修回日期:2000-02-27

作者简介:杨志荣(1964~),男,湖南安化人,博士,教授。主要从事环境变迁研究。

The period of 4700~3800 aBP was the climatic optimum which was only inferior to the super period of Optimum in 6900~6300 aBP. In this period, temperature was 3 C higher and precipitation was at least 150mm more than those of present.

Key words: reconstruction of climate and environment; holocene; Daqing Mountains

文章编号:1000-0933(2001)04-0538-06 中图分类号:Q143 文献标识码:A

1 调角海子湖泊沉积与¹⁴C测年

调角海子位于内蒙古自治区乌兰察布盟察哈尔右翼中旗,属于大青山中段灰腾梁玄武岩台地上近百个小型全封闭湖泊之一,湖面海拔 2015m,湖泊面积约 0.3km²。根据邻近气象站记录推算,湖区现代年平均气温约 0C,降水量 350mm 左右。湖盆区现代植被属山地草甸草原。

调角海子由于其全封闭性,湖盆基岩又由玄武岩组成,因而保存的环境信息噪声小,沉积物用来研究过去气候与环境变化较为准确可靠。调角海子剖面深度 143cm,沉积物特征及¹⁴C测年结果如表 1 所示。

表 1 调角海子剖面沉积物性质及¹⁴C 年龄测定成果

Table 1 Material composition and radiocarbon ages of Diaojiaohaizi profile

采样深度 Depth(cm)	沉积物 Sediments	测年深度 Depth of dating(cm)	¹⁴ C 年龄 Age(aBP)
0~15	草炭 Peat	3~5	2170±70
		7~10	2835±70
		13~15	3045±70
16~25	黑色粘土质粉砂 Clayey silt	24~25	3325±70
26~30	灰黑色泥炭 Peat		
31~36	黑色含砂砾石的泥炭 Pebbly peat	30~31	3670±75
37~41	黑色含砂泥炭 Sandy peat	39~41	4280±80
42~50	砂砾石 Sand and pebble		
51~64	黑色含砂砾石的泥炭 Pebbly peat	51~52	6330±90
65~75	黑色泥炭、粘土 Peaty clay	64~65	7060±95
76~81	灰黑色砂砾石层 Sand and pebble		
82~86	黑色含砂砾石的泥炭 Pebbly peat		
87~88	黑色泥炭 Peat		
89~91	灰黄色粘土质粉砂 Clayey silt	88~89	9230±110
92~104	砂砾石层 Sand and Pebble		
105~107	含砾石的粉砂 Pebbly silt		
108~118	黑色粘土质粉砂 Clayey silt	108~109 115~118	10015±120 10115±120
119~129	灰黄色粉砂 silt		
130~143	紫灰色淤泥 Mud	130~134	10955±135
		140~142	11440±135

$T_{1/2}=5568a$, 未经树轮校正 The data are not calibrated to calendric date

对剖面加密采样,每 1cm 采 1 个样品,共获得样品 143 块,作为室内分析的基本材料。另采¹⁴C 年龄样品 13 个,在北京师范大学¹⁴C 实验室进行了年龄测定,获得的年龄数据从 11440±135aBP 到 2170±70aBP,样品年龄与深度具有良好的线性关系(表 1)。

2 孢粉资料及其反映的环境变化

调角海子剖面的孢粉鉴定由中国科学院植物研究所杜乃秋先生协助完成。将孢粉分析的结果用 TILI-A 软件进行处理,孢粉浓度和百分含量变化分别如图 1、2 所示。

综合图 1 和图 2 地层约束聚类分析的结果,将全新世植被与环境变化分为 5 个时期。

2.1 11500~10200aBP 此期孢粉浓度极低,总浓度仅为 3~21 粒/g。孢粉浓度极低表明当时植物群体密度很小,植被极为稀疏。已检出的花粉主要是零星的蒿、藜、麻黄,三者占到花粉总数的 80%~90%,其余为异地传播来的桦、松花粉,除此,几乎不含其他植物的花粉。由于花粉数量少,且不能鉴定到种,因而,对其代表的植被类型难以作出准确的判断。根据当时植被极为稀疏、种属单调,推断处于大青山山顶海拔 2000m 以上的调角海子地区,当时风大寒冷,抑制了植物的生长,可能类似于现代长白山顶草本冻原分布

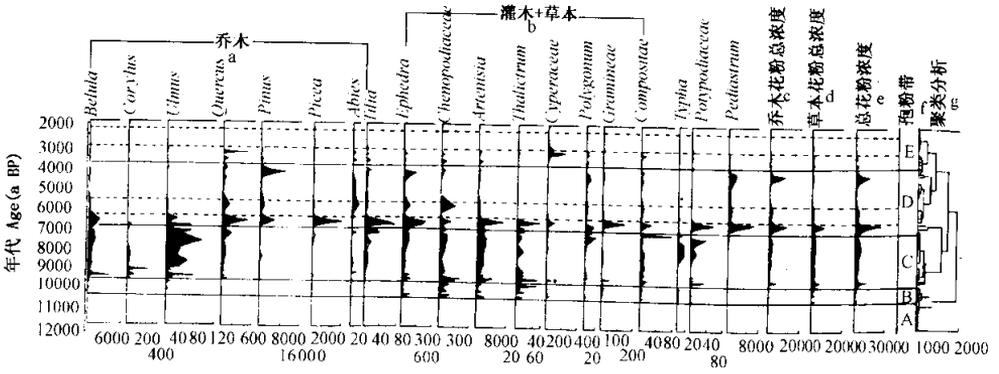


图 1 调角海子剖面孢粉浓度(粒/g)图式

Fig. 1 Sporopollen concentration diagram of Diaojiaohaizi section

a. Trees b. Shrubs+Herbs c. Total trees d. Total herbs e. Total f. Sporo-pollen zone g. Cluster analysis

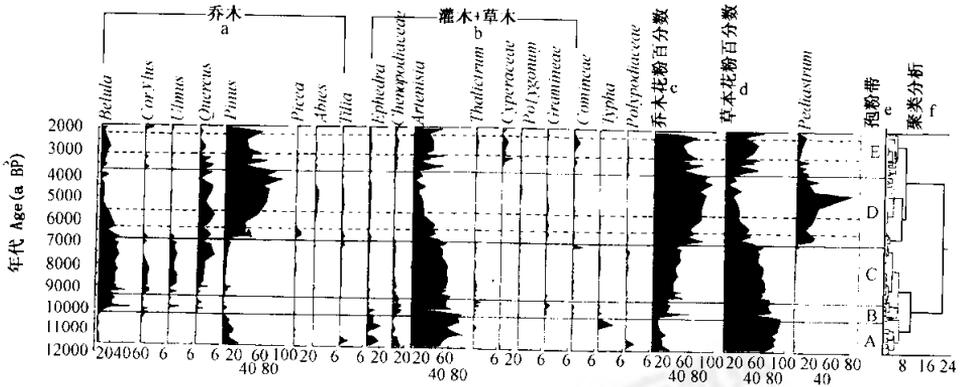


图 2 调角海子剖面孢粉百分比图式

Fig. 2 Sporopollen percentage diagram of Diaojiaohaizi section

a. Trees b. Shrubs+Herbs c. Total trees d. Total herbs e. Sporo-pollen zone f. Cluster analysis

区的气候环境。

2.2 10200~9400aBP 从 10200aBP 开始,孢粉浓度开始猛增,到 10100aBP 时,孢粉总浓度猛增了 280 倍,科属数也增加了 1 倍,乔木、草本和灌木及水生藻类均呈同步增长,显示此期种群突然扩大,植物群体密度突发性增高,植被在短时间之内突然繁盛起来了。首先繁盛起来的是蒿、藜、麻黄等耐旱的草本和小灌木植物,乔木花粉含量一般还很低,最初侵入的乔木只有少量的桦树,远处山地开始有松树生长。此期植被的繁盛主要得益于温度的迅速升高,湿度条件虽有一定改善,但属于次要因素。从孢粉百分比组成来看,乔木花粉占 25%左右,个别样品达到 60%,少的仅为 7%,其中桦占总花粉 23%左右,个别达 50%,少的仅为 6%,松占 7%以下,另有极少量的榆、栎、榛;草本花粉占 75%左右,其中蒿占总花粉的 50%~70%,藜占 10%左右,麻黄占 2%~5%,另有少量禾本科、莎草科、唐松草、唇形科、菊科等的花粉。孢粉组合反映的植被与现代大兴安岭西麓的桦林草原可以类比,说明当时的气温仍比现代低 1~1.5℃,降水量高于现代 30~50mm。

2.3 9400~7900aBP 气候真正变为适宜大致始于 9400aBP,此时乔木花粉浓度迅速增加,百分含量也从 30%增加到 50%,其中以桦占绝对优势,榆、栎也得到了一定发展。这一时期草本和灌木植物也同时获得了

较大发展,浓度迅速增加,其中仍以蒿、藜、麻黄为主,但其百分含量比前期下降,而地榆、唐松草、莎草科、禾本科、菊科等草本植物获得了一定的发展。水生植物狐尾藻本期也出现全剖面的峰值。孢粉反映本期植被总体上为生长桦树和少量其它夏绿乔、灌木的森林草原,表明气候以温湿为特征。具体的孢粉百分比组成是木本花粉占 50%左右,其中桦占总花粉的 25%~30%,松占 3%~10%,栎占 2%左右,榆占 1%左右,另有少量冷杉、椴、柳和榛的花粉;草本植物中蒿仍占总花粉的 40%~50%,藜、麻黄分别占 2%~3%,唐松草、菊科分别占 1%左右,另有少量地榆、莎草科、禾本科的花粉。孢粉组合反映的植被与现代大兴安岭东南麓的森林草原最为近似,说明当时的年均气温和降水量分别比现代高 1.5~2.0℃和 150~200mm。

在森林草原和温湿气候的背景下,本期也出现过 3 次植被退化与气候冷干波动。9100~8800aBP 的波动最强,孢粉总浓度从 10285 粒/g 迅速降至 1933 粒/g,乔木花粉也从 5090 粒/g 迅速减至 640 粒/g;8000~7800aBP 和 7000~6900aBP 的退化波动较弱,但仍能从乔木花粉浓度和花粉总浓度的变化中清楚地反映出来。3 次波动时,乔木花粉百分比都略有降低,而草本和灌木花粉含量则相应有所升高。

2.4 6900~3800aBP 本期又可分为 3 个亚期。

6900~6300aBP,本期各主要花粉类型的浓度几乎整齐一致地出现全剖面的峰值,成为该剖面花粉谱中最引人注目的变化,而且乔木植物百分比迅速上升到 70%~80%,草本和灌木植物百分比相应地迅速下降。乔木中的桦仍占总花粉的 12%~32%,松占 13%~41%,栎占 2%~4%,云杉占 2%~10%,另有少量榆、椴、胡桃等;草本和灌木中的蒿占 15%~30%,麻黄占 2%~5%,藜占 1%~2%,另有少量唐松草、莎草科、蓼、禾本科和菊科的花粉;盘星藻和水龙骨也在此时达到全剖面的峰值。孢粉显示此期为植被全盛期,喜凉湿的桦、云杉和喜温的油松及栎、榆、椴、胡桃等都在此期获得了发展,草本和灌木中耐旱、盐的麻黄、藜百分比下降,蒿等草本占居主要地位,显示此期为全新世以来的水热最佳配置时期,即全新世气候最适宜的鼎盛期。按孢粉组成分析,本期植被为针阔叶混交林,代表性乔木为桦、松,其中混生栎、云杉、榆、椴、胡桃等。同时满足这些树种生长的年均气温为 2~3℃,降水量至少为 500~550mm,因此,当时气温比现在高 2~3℃,降水量至少高于现代 150~200mm。现代大青山中段阴坡 1300~1700m 分布的山地油松林-辽东栎林-白桦林与此期的植被相近,说明大青山当时的垂直植被带比现代上升了 300~700m,按气温垂直变化率 0.5℃/100m 推算,当时的气温比现代高 1.5~3.5℃,其中值即为 2~3℃,与上述推断相符。

6300~5600aBP,6300aBP 前后出现中全新世气候变化中的重要转折,其在植被变化中的明显表现一是油松迅速取代了白桦,成为乔木中的优势树种,二是蒿属等草本和灌木植物明显减少,而耐旱的麻黄、藜科仍维持在较高水平。油松替代白桦表明气温明显地升高了,因为尽管白桦现代也可以分布到暖温带北部的山地,但其分布的高度均大于油松,在水平地带,白桦比油松显著偏北,是寒温带优势树种之一。草本植物的变化表明气候的干燥度也同时增加了,这一方面可能是因为降水减少,另一方面也由于温度升高使空气的相对湿度降低。6300~5600aBP 内孢粉浓度出现一峰一谷,谷值出现在 6300~5800aBP,反映植被退化为疏林草原和森林草原;峰值出现在 5800~5600aBP,植被恢复为针阔叶混交林,但其性质与气候最适宜鼎盛期已明显不同。

5600~3800aBP,孢粉浓度同样出现一峰一谷。谷值出现在 5600~4700aBP,与前期相比,孢粉浓度大幅度下降,乔木仅有零星的松、桦、栎,草本和灌木植物种类也大为减少,植被退化为干草原。峰值出现在 4700~3800aBP,本期油松获得了全面发展,其占花粉的百分比达到 80%~90%,浓度出现全剖面的峰值,与之伴生的只有极少量的桦、栎、椴,草本和灌木以蒿、麻黄、藜科为主。孢粉显示此期为仅次于气候最适宜鼎盛期的植被繁盛期。油松在华北分布的最宜区域气温达 3~6℃,降水量为 500~600mm,因此,油松在调角海子地区获得很好的发展,说明 4700~3800aBP 气温比现在高 3℃以上,降水比现在高 150mm 以上。

2.5 3800~1900aBP 本期也可分为 3 个亚期。

孢粉浓度特别是乔木花粉浓度的显著减少发生在 3800aBP 前后,这种减少是永久性的,以后再也未恢复到此前的水平;孢粉百分比同样在 3800aBP 发生突变,乔木花粉迅速减少到 50%以下,草本和灌木迅速上升到 50%^{【参考文献】} 植被的突变性衰退,标志着中全新世暖湿气候的结束。

3800~3100aBP 为中全新世向晚全新世过渡的波动时期,植被在森林草原到干草原之间波动;3100~

2200aBP 出现 1 万年以来孢粉浓度的最低点,乔木完全退出了调角海子地区,草本和灌木中也仅有少量的蒿、藜、麻黄、莎草等生长,植被极为稀疏,类似于现代的荒漠草原;2200~1900aBP 孢粉浓度有所回升,但已无法达到 3000aBP 以前的水平。

3 沉积地球化学特征及其反映的环境变化

采用碱熔法和 ICAP-9000 电感耦合等离子光谱仪,测定了调角海子剖面各个样品 20 余种常量和微量元素的含量,并计算了有关元素的比值;用气量法测量了各样品的 CaCO₃ 含量。也用 TILIA 软件对这些特征量进行处理,结果如图 3、4 所示。

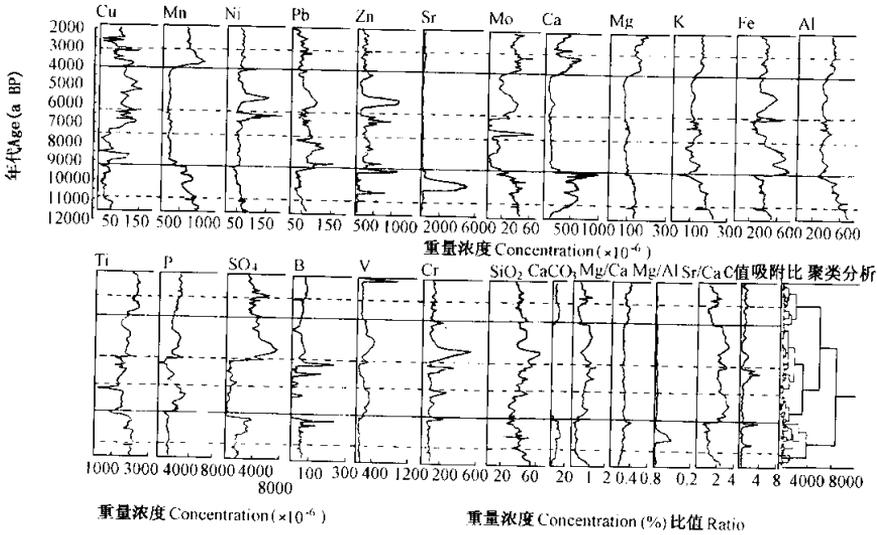


图 3 调角海子剖面地球化学特征量变化图谱

Fig. 3 Change regularity of geochemistry of Diaojiaohaizi section

Ca、Mg、K、Fe、Al 缩小了 100 倍, Ca、Mg、K、Fe and Al is reduced by 100 times separately

$$C \text{ 值}(C\text{-Value}) = \frac{\sum (Fe + Al + Mn)}{\sum (K + Ca + Mg)} \quad \text{吸附比}(\text{Absorbed ratio}) = \frac{\sum (Ca + Ni + Zn)}{3V}$$

图 3 中聚类分析的结果表明,地球化学特征量所反映的气候变化的阶段性与孢粉反映的阶段性能够很好地吻合。

11500~9200 aBP, 温湿气候型元素 Cu、Pb、Zn、Fe、Cr 等一般处在较低水平, Ca、Mg、K 及反映湖水含盐量的 B、SO₄²⁻ 一般处在较高水平, 反映气候温湿程度和生物作用强度的 C 值和吸附比一般也较低。这些特征表明气候总体上以较冷干为特征。从沉积物的含 B 量来看, 此期均大于淡水沉积物的含 B 量标准 (50 × 10⁻⁶ 重量浓度), 说明调角海子形成之初即为半咸水或咸水湖。

按聚类分析的结果, 此期还可细分为 11500~10900 aBP 的气候回暖阶段, 10900~10200 aBP 的衰退阶段及 10200~9200 aBP 的气候再转暖阶段。图 4 中 CaCO₃ 含量在 10200aBP 左右的急剧变化, 代表了从前期草本冻原到后期桦林草原的环境变化。

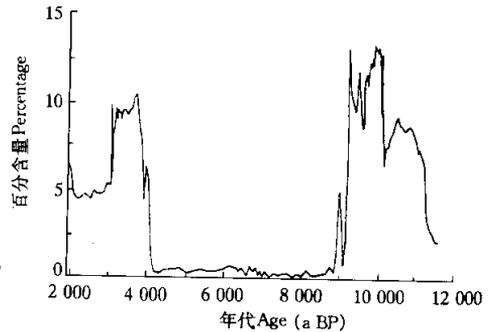


图 4 调角海子剖面 CaCO₃ 百分含量

Fig. 4 Variation in CaCO₃ percentage of Diaojiaohaizi section

CaCO₃ 含量在 10200aBP 左右的急剧变化, 代表了从前期草本冻原到后期桦林草原的环境变化。

9200~4000aBP,许多特征值都在9200aBP前后发生明显的或急剧的变化,Cu、Pb、Zn、Fe及C值迅速增加,而Ca、Mg、Mn、Mo、 SO_4^{2-} 、B的含量则迅速减小, $CaCO_3$ 的百分含量急剧减少。沉积地球化学特征表明气候在9200aBP前后发生了急剧的变化,从早全新世仍较干冷的气候转变为中全新世温湿的气候。4000aBP前后,绝大部分特征值再次发生显著的变化,Ca、Mg、Mn、Mo迅速增加,K、B等的含量也有不同程度的增加, $CaCO_3$ 含量从1%以下急剧增加到10%左右;相反,温湿气候元素Cu、Ni、Pb、Zn等的含量都有不同程度的减少,C值、Mg/Ca值也比前期明显减小。这些地球化学特征的变化标志着全新世气候适宜期于4000aBP前后结束。

按聚类分析的结果,本期可分为9200~7700aBP的温湿气候阶段、7700~6300aBP的气候暖湿阶段和6300~4000aBP的气候相对暖干阶段。

4000~1900aBP,可细分为4000~3100aBP和3100~1900aBP两个阶段。从Mg/Ca值及C值分析,早段气温比前期明显降低,甚至低于晚段,但从B、 SO_4^{2-} 、Cu、Pb、Zn、Fe的含量分析,早段湿度条件好于晚段,这种温湿条件搭配,正好与 $CaCO_3$ 含量指示的半干旱草原环境或疏林草原环境一致;晚段气温可能稍高于早段,但降水明显减少,特别是3100~2300aBP左右,Cu的含量出现谷值, SO_4^{2-} 、B含量出现峰值,反映气候干旱,从 $CaCO_3$ 含量变化分析,本期发展为荒漠草原环境。2300aBP以后,降水略有增加,气候好转, $CaCO_3$ 含量也有所增加。

4 结论与讨论

(1)大青山调角海子地区11500aBP以来气候与环境的演化可分为11500~10200aBP,10200~9400aBP,9400~6900aBP,6900~3800aBP和3800~1900aBP 5个阶段,其中后两个阶段又可各分为3个亚段。

(2)全新世大暖期大致始于9400aBP,结束于3800aBP前后。6300aBP出现中全新世气候变化的重要转折,将其全新世大暖期分为早晚两段,早段气候温湿,晚段相对暖干。大青山白素海^[1]和调角海子另一钻孔剖面^[2]孢粉分析的结果与本文的结论吻合。

(3)6900~6300aBP为全新世气候最适宜的鼎盛期。岱海湖侵正好发生在6700aBP前后^[3];毛乌素沙地此期古土壤最为发育^[4];内蒙古中西部繁盛的仰韶农业文化兴起于7000aBP前后^[5];青海湖、新疆柴窝堡湖、艾比湖、巴里坤湖等都在此期出现高湖面,气候温暖湿润^[6~8]。

(4)以湿度为标志的全新世气候最适宜期始于9200aBP左右,比大暖期开始落后了200a左右;结束于4000aBP前后,又比大暖期结束提前了200a左右。这种气候水热状态转换过程中的规律如果存在,那么,对预测我国未来因温室气体加倍导致的气候变化是很有意义的。

参考文献

- [1] 崔海亭,吴万里,宋长青,等.内蒙古大青山全新世环境的重建.见:张兰生主编,中国生存环境历史演变规律研究(一),北京:海洋出版社,1993.285~295.
- [2] Song C Q and Wang F Y. Paleovegetational reconstruction through high resolution pollen analysis of Diaojiao Lake in Daqingshan Mts., middle part of Inner Mongolia, North China, *Scientific Geologica Sinica*, Supplementary Issue (1), 1995, 215~222.
- [3] 王苏民,冯敏.内蒙古岱海湖泊环境变化与东南季风强弱的关系.中国科学(B辑),1991,21(7):759~768.
- [4] 高尚玉,陈渭南,靳鹤龄,等.全新世中国季风区西北缘沙漠演化初步研究.中国科学(B辑),1993,23(2):203~208.
- [5] 杨志荣,索秀芬.我国北方农牧交错带人类活动与环境的关系.北京师范大学学报(自然科学版),1996,32(3):415~420.
- [6] 张彭熹,张保珍,钱桂敏,等.青海湖全新世以来古环境参数的研究.第四纪研究,1994,(3):225~238.
- [7] 韩淑提,瞿章.北疆巴里坤湖内陆型全新世气候特征.中国科学(B辑),1992,22(11):1201~1209.
- [8] 吴敬禄,靳鹤龄.全新世沉积特征及古环境演化.地理科学,1995,15(1):39~46.