浑善达克沙地高西马格剖面孢粉分析及 植被演化的初步探讨

李春雨^{1,2} 徐兆良^{1*} 孔昭宸¹

(1 中国科学院植物研究所系统与进化植物学重点实验室, 北京 100093)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要 为了探讨浑善达克沙地 5 000 年以来的植被演化过程, 我们对内蒙古正蓝旗境内高西马格湖人工挖掘 2.0 m 深的剖面进行了较高时间分辨率的孢粉分析, 并参考孢粉组合与植被之间的对应关系, 得出: 该期的植被和气候演化大致可以划分为 3 个阶段: 阶段 I (约 5 010 ~ 4 040 aBP), 孢粉组合是以落叶阔叶桦木 (*Betula*) 和蒿属 (*Artemisia*) 植物花粉为优势, 区域性分布有桦木林, 当时气候较今温暖偏湿。阶段 II (4 040 ~ 1 820 aBP), 旱生植物花粉占优势, 其中蒿属和藜科的比值偏高, 显示了草原植被占优势; 根据该带蒿/藜 (A/C) 比值的频繁变化推断该时期可能有多次气候小波动。阶段 III (1 820 ~ 200 aBP), 组合中仍然以草本植物的花粉为优势, 但藜科植物在组合中大量增加, 推测植被应为荒漠草原, 气候更趋干旱, 接近于现代的气候状况。

关键词 浑善达克沙地 高西马格湖 孢粉分析 植被演化 全新世

A PRELIMINARY INVESTIGATION ON THE HOLOCENE VEGETATION CHANGES FROM POLLEN ANALYSIS IN THE GAOXIMAGE SECTION, HUNSHANDAK SANDY LAND

LI Chun-Yu^{1,2} XU Zhao-Liang^{1*} and KONG Zhao-Chen¹

(1 Laboratory of Systematic and Evolutionary Botany, Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

(2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract In order to understand the changes of palaeoclimate and palaeovegetation in Hunshandak sandy land, pollen-spores have been studied from the Gaoximage section (42°57'14.2" N, 115°22'3" E, Alt 1 253 m) in the Hunshandak sandy land, Inner Mongolia, China. Combining pollen-spore assemblages and their relationships with vegetation, the result shows that climate and vegetation have experienced three periods of changes from 5 000 aBP to present. I. From 5 010 to 4 040 aBP, the main pollen-spore was deciduous broad-leaved plant (*Betula*) and the herb (*Artemisia*). During that time, *Betula* forest may have existed in that region. The climate was probably warm and humid. II. From the 4 040 to 1 820 aBP, the pollen assemblages of the area studied were dominated by pollen such as *Artemisia* and Chenopodiaceae. Grassland was developed during that time. There were probably several small climate fluctuations between aridity and humidity according to the changes of A/C (*Artemisia*/Chenopodiaceae) value. III. From 1 820 to 200 aBP, pollen-spore assemblages show that Chenopodiaceae have dominated with some *Artemisia*, and the vegetation was deduced to be desert grassland. This implies that the climate became arid, which is similar to the current condition.

Key words Hunshandak sandy land, Gaoximage lake, Pollen analysis, Vegetation changes, Holocene

浑善达克沙地处于中国陆地生态系统对全球变化响应的一级敏感区, 又是农牧交错带, 因此气候变化及人类土地利用方式的变更对其非常敏感。该地区广泛遗存着不同时期的古土壤、夹沙层及人类文化遗址。这些地层记录着历史时期环境变迁及生态系统演化的丰富信息(施雅风, 1992)。提取这些信息, 再结合分析人类活动历史, 对于揭示浑善达克沙

地生态系统的演化过程, 探讨浑善达克沙地的起源和发展极为重要。

浑善达克沙地及其周边地区有关生态系统方面的研究已取得了可喜的进展, 董玉祥等(1993)研究了浑善达克沙地沙漠化过程, 认为该地区的沙漠化发展过程是一个以气候为主导的自然过程; 李森等(1995)在研究浑善达克沙地的沉积特征和环境演变

时,将其全新世(10 000 aBP 至今)气候变化划分为 8 个旋回,该期间经历了升温波动期、温暖期和温干冷干频繁波动期 3 个演变阶段;马玉贞等(1998)对腾格里沙漠的研究揭示了该地区晚更新世(42 000 aBP 至今)以来植被和气候演化的 5 个阶段;任国玉等(1997)通过高分辨率的孢粉资料重建科尔沁沙地麦里地区晚全新世植被变化,并提出 3 000 aBP 以来的植被演化与人类活动有关,而 1 000 ~ 660 aBP 植物繁盛则取决于生长季雨量的增加;黄赐璇(1992)在毛乌素沙地的研究中提出 4 000 年为明显的界限,植被由疏林草原转为以蒿、藜为主的草原,气候转变成干旱;杨志荣(1998)的研究表明内蒙古中西部地区全新世气候最佳期开始于 9 250 aBP 左右,结束于 4 000 aBP 前后,其中 6 850 ~ 6 330 aBP 为气候适宜期。在中国北方的农牧交错带的形成与研究上,李华章(1997)根据本区沙地的形成、演化和湖泊演化的对比,推测近 10 000 年有过 4 ~ 5 次较大的气候波动,自 3 000 aBP 年以来干湿频率有加剧的趋势。

然而,以往由于研究者所处的研究角度不同,对该地区及其周边环境演变的研究中常存在时间分辨率不高、手段单一的缺陷,且缺少居于生态系统演化水平上的综合分析,使其对沙地的形成与演化问题的认识,目前仍有较大分歧。本文通过孢粉分析,并参考孢粉组成与植被之间的对应关系,初步归纳出浑善达克沙地近 5 000 年来的植被演化、气候变迁及空间分异。这一研究不仅可以弥补我国浑善达克这一全球变化敏感地区沙化事件研究的不足,而且就中国西部环境长远发展的意义而言,结合周边地区的研究结果,可以探讨同一时段随经、纬向和垂向变化所反映的植物生态的多样性。研究浑善达克地区 5 000 年以来环境变化,不仅为该区现代植被、植物区系形成及其未来环境变化趋势提供较为可靠的背景资料,而且为恢复和重建该地区良好的生态环境提供可依据的指证。

本文通过内蒙古正蓝旗高西马格湖人工挖掘剖面样品的分析,取得较高时间分辨率的孢粉资料,结合¹⁴C 序列测年,阐述了该地区 5 000 年以来的植被演化和环境变化的特征,并利用重建的古植被信息和当时气候因素的关系,为维护该地区的植被,改善当地生态状况,实现可持续性利用和发展提供了有价值的历史资料。

1 地区概况

浑善达克沙地(又称小腾格里沙地)是内蒙古自

治区中东部的 4 大沙地之一,位于华北平原的正北方。该沙地在锡林郭勒草原的中南部,呈东西走向,东西长 300 ~ 400 km,南北宽 50 ~ 100 km,总面积约 21 400 km²。该地区年均温 - 2 ~ 2 °C,7 月均温 18.0 ~ 21.0 °C,1 月均温 - 18.0 ~ - 28.0 °C,≥10 °C 的年积温 1 800 ~ 2 300 °C,年降水量 250 ~ 400 mm,湿润度 0.3 ~ 0.6 (中国科学院宁夏综合考察队,1985)。

地带性土壤主要为栗钙土,但目前所见到的基本上是风沙土和丘间低地的沙质草甸土,东部玄武岩台地的阴坡有棕色森林土分布。地带性植被主要属于温带草原,东部具有草甸草原性质,西部边缘属于荒漠草原。目前的植被类型主要是风沙土上形成的各类沙生植被。在东半部,固定沙地主要是冰草属(*Agropyron*)、赖草属(*Aneurolepidium*)、雀麦属(*Bromus*)等植物占优势的植物群落。在西半部,固定沙地主要是沙蒿(*Artemisia desertorum*)为主的沙地半灌木群落。沙地中残留有较多的榆树(*Ulmus pumila*),在东部,较大沙丘的阴坡有由桦树(*Betula* sp.)、柳树(*Salix* spp.)、杨树(*Populus* spp.)等组成的片林和虎榛子(*Ostryopsis*)灌丛。在中、东部较大的沙丘阴坡一般有绣线菊属(*Spiraea*)、忍冬属(*Lonicera*)、蔷薇属(*Rosa*)等植物灌丛,其间常有叉分蓼(*Polygonum divaricatum*)等。

2 材料和方法

研究剖面位于内蒙古正蓝旗扎格斯台苏木政府所在地西约 1 km、已干涸的高西马格湖岸阶地上(42°57'14.2" N,115°22'3" E,海拔 1 253 m)。挖掘剖面深 2.0 m,岩性自下而上依次为黄色粉砂、黑色粉砂淤泥、黄色粉砂、深灰色黏土、灰色粉砂、灰色粉砂质黏土和灰色粉砂。剖面选取样品进行序列¹⁴C 测年并进行年龄回归,得出该剖面沉积年龄为 5 010 ~ 237 aBP(图 1)。

本研究自下而上选取样品 87 份,每份称重 10 g (平均间距 2 cm,时间分辨率约为 35 a)。采用外加石松孢子技术(每个样品加入 1 ml 浓度为 6.56 × 10⁴ 个·ml⁻¹石松孢子溶液)的定量分析方法,用比重为 1.90 的重液浮选提取沉积物中的孢粉,最后用 1:9 的浓硫酸和醋酸酐的混合液进行化石孢粉处理。在 OLYMPUS 光学显微镜 40 × 10 倍镜头下进行化石孢粉鉴定和统计。除个别样品孢粉极少外,每号样品统计陆生植物孢粉 200 粒以上,并以全部陆生植物孢粉的总和(陆生的乔木、灌木和草本的花粉及蕨类

表 1 高西马格湖剖面¹⁴C 测年表
Table 1 ¹⁴C dating of Gaoximage section, Zhenglanqi, Inner Mongolia

样品号 Number of samples	岩性 Lithology	距地表深度 Depth (cm)	¹⁴ C 年龄 (平均值 ± 标准误)	树轮校正年龄 (平均值 ± 标准误)
			¹⁴ C data (Means ± standard errors) (aBP)	Data corrected by tree rings (Means ± standard errors) (aBP)
1	黑色粉砂淤泥 Dark silt peat	192 ~ 197	5 010 ± 90	5 735 ± 135
2	黑色粉砂淤泥 Dark silt peat	165 ~ 170	3 810 ± 80	4 810 ± 120
3	深灰色黏土 Dark grey clay	108 ~ 113	2 850 ± 100	2 950 ± 155
4	粉砂 Silt	67 ~ 72	1 850 ± 80	1 820 ± 120

测试单位——国家地震局地质研究所¹⁴C 实验室 Dating unit — ¹⁴C Dating Laboratory of National Earthquake Bureau

图 1 高西马格剖面岩性柱状图
Fig.1 Lithologic column of Gaoximage section

图 2 ¹⁴C 年龄回归
Fig.2 The trend of ¹⁴C dating

孢子)为基数计算各类植物占基数的百分比和孢粉浓度。尽管水生的盘星藻(*Pediastrum*)和双星藻(*Zygenma*)不计入花粉基数,但也计算了它们占陆生植物花粉总数的百分含量及浓度。计算结果用Tilia 软件绘制出孢粉百分含量和重量浓度图(图 3,图 4)。

3 花粉分析结果

花粉统计表明,该剖面优势类型植物较为单

调。共鉴定出 35 个属种,其中乔木包括松属(*Pinus*)、桦属(*Betula*)、栎属(*Quercus*)、榆属(*Ulmus*)、柳属(*Salix*)、胡桃属(*Juglans*)和木犀科;灌木半灌木和草本中有蒿属(*Artemisia*)、藜科、菊科、麻黄属(*Ephedra*)、莎草科、禾本科、怪柳(*Tamarix*)、豆科、山萝卜(*Scabiosa*)、蔷薇科、百合科、唐松草属(*Thalictrum*)、白刺属(*Natraria*)、石竹科、毛茛科、蓍草属(*Humulus*)、丁香属(*Syringa*)、伞形花科、桑属(*Morus*)、虎耳草科和地榆属(*Sanguisorba*);水生植物中有香蒲(*Typha*)、眼子菜(*Potamogeton*)、盘星藻和双星藻,蕨类植物有水龙骨科属(*Polypodium*)和卷柏(*Selaginella*)。

高西马格剖面花粉组合中以草本植物花粉为优势,其最高百分含量为 98.8%。草本植物花粉的主要成分为蒿属和藜科,二者的最高百分含量分别为 74.4%和 82.2%;另外菊科、麻黄属、唐松草属也占一定的比重,其最高百分含量可达到 7.2%、29.9%、8.0%;乔木花粉以松最为丰富,其次是桦,二者最高百分含量分别为 46.3%和 63.5%;水生植物花粉很少,最高百分含量仅为 18%,并且以香蒲为主。盘星藻在局部层位较丰富,可以达到 17%;蕨类植物很少,并且以水龙骨科为主,它的最高百分含量为 17.8%。

根据剖面的孢粉组合变化,参照有序聚类分析和¹⁴C 测年,高西马格孢粉组合自下而上可划分为 3 个带(注:以下孢粉带及剖面年龄数字为回归后的年龄):1)孢粉带 I(深度为 200 ~ 155 cm,约 5 010 ~ 4 040 aBP):沉积物的岩性自下而上为黄色粉砂状流沙层,黑色粉砂淤泥,黄色粉砂。孢粉组合是以落叶阔叶的桦木和蒿属植物花粉为优势,它们的百分含量分别为 16.7% ~ 63.5%和 21.3% ~ 47.6%,浓度分别为 31.1 ~ 132 粒·g⁻¹和 13 ~ 233 粒·g⁻¹;其它乔木植物还有松(2% ~ 43%,9.9 ~ 39.9 粒·g⁻¹);草本和灌木植物有藜科(2% ~ 16%,5.6 ~ 23.1 粒·g⁻¹)、麻黄(1% ~ 16%,5.4 ~ 19.8 粒·g⁻¹)。其它种类植物花粉少见。

图3 高庙山剖面花粉百分含量图

图4 高西马格剖面孢粉浓度图 (35-4)

2) 孢粉带 II(深度为 155 ~ 59 cm, 4 040 ~ 1 820 aBP), 岩性下部为灰色黏土, 上部为灰色粉砂。本带的花粉浓度明显增高, 植物多样性增加, 草本旱生植物花粉为优势, 主要有蒿属(9% ~ 74%, 23.1 ~ 9 534.6 粒·g⁻¹)和藜科(7% ~ 80%, 11.5 ~ 23 767 粒·g⁻¹)。计算得出 A/C 值的波动范围为 0.05 ~ 6.23。菊科(0.7% ~ 5.9%, 21.1 ~ 1 630 粒·g⁻¹)也占一定比例, 麻黄属(1.6% ~ 11%, 37.6 ~ 652 粒·g⁻¹)和唐松草(1.3% ~ 8.0%, 263.8 ~ 1 124 粒·g⁻¹)在此带出现。乔木中松属(8% ~ 42.6%, 72.4 ~ 1 863 粒·g⁻¹)经历了一个阶段性降低并且回升, 在 4 040 ~ 3 350 aBP 期间, 其花粉百分含量降低(19% ~ 1%)花粉浓度偏低(205 ~ 798 粒·g⁻¹), 在 3 350 ~ 1 820 aBP 期间, 其百分含量升高(3% ~ 42%), 花粉浓度上升(81.1 ~ 1 863 粒·g⁻¹)。3) 孢粉带 III(深度为 59 ~ 0 cm, 1 820 ~ 200 aBP), 由¹⁴C 年龄回归分析得出此层位表土并非现代沉积, 上部为 200 aBP 左右剥蚀层。本带主要以草本植物花粉占优势, 其中藜科花粉的百分含量要大于蒿属。越接近地表, 松属(53% ~ 5%)、蒿属(45% ~ 9%)的百分含量越低, 藜科的百分含量越高(40% ~ 80%)。与此同时, 水龙骨百分含量降低(27% ~ 2%), 香蒲的百分含量下降(18% ~ 0.5%)。此带的花粉浓度不高, 具体如下: 松属(18.6 ~ 246 粒·g⁻¹)、蒿属(22.6 ~ 1 356 粒·g⁻¹)和藜科(6.4 ~ 2 835 粒·g⁻¹)、麻黄(4 ~ 398 粒·g⁻¹)。由此推测这段时期植被覆盖率偏低。

4 古植被恢复

高西马格剖面的孢粉资料揭示了浑善达克沙地中部 5 000 年来的植被演替状况。其特征如下:

1) 5 000 ~ 4 000 aBP 期间, 花粉组合主要以桦木和蒿属植物花粉为主导。尽管当时花粉浓度低, 孢粉贫乏, 但是乔木的桦树和草本的蒿属占了很大一部分比例, 推断是一个以桦木和蒿属占主成分的草原或疏林草原。因为桦木花粉的含量在 30% 以上, 就可以断定桦林就地存在或者短距离内存在(Liu *et al.*, 1999)。当时气候为温暖偏湿。

2) 4 000 ~ 2 000 aBP 期间, 孢粉组合中旱生植物花粉为优势, 不仅花粉浓度高, 而且植物多样性增高, 推测为草甸草原。草本植物花粉的百分含量远远大于乔木植物花粉百分含量; 在草本植物花粉中, 蒿属的百分含量总体上大于藜科的百分含量, 并且随着地层的变化而有起伏波动; 从总的时间尺度来看, 随着地层年龄越新, 蒿属的百分含量越低, 藜科

的百分含量越高。同时, 根据此期间变化的 A/C 比值推测该时期内可能有多次目前难以断定的干湿气候的波动。具体事件待孢粉的加密分析后方可得出。

3) 2 000 ~ 200 aBP 期间, 孢粉组合仍然以草本植物的花粉为优势, 但花粉的浓度偏低。随着藜科植物在孢粉组合中的大量增加, 蒿属百分含量变少, 蕨类和水生植物花粉的百分含量降低, 麻黄百分含量增加, 推测植被应为荒漠草原, 气候变得更加干旱, 接近于现代的气候状况。

5 结果和讨论

从浑善达克沙地及其邻近地区以往的研究结果来看, 李森等(1995)将浑善达克沙地全新世(10 000 aBP 至今)气候演化划分为 8 个旋回, 经历了升温波动期、温暖期和温干冷干频繁波动期 3 个演变阶段; 董玉祥等(1993)认为该地区 5 000 年来经历了退缩、活化的沙漠化的正、逆过程, 逆过程发生在 5 000 ~ 4 000 aBP。在这几次正逆反应过程中, 沙漠化是受制于气候变化的自然过程; 本研究的 3 个孢粉带的孢粉资料显示出来的浑善达克沙地中部 5 000 年以来的植被演化状况(疏林草原—草甸草原—荒漠草原)和气候变化的结果, 与前人认为 5 000 ~ 4 000 aBP 属于较稳定的温暖期的研究相类似, 并符合中国北方全新世的植被演化和气候变化的总体趋势。

孢粉分析结果表明, 从 2 000 aBP 到今, 代表干旱荒漠草原气候的藜科植物花粉的增多, 代表湿润草原的蒿属植物花粉减少, 同时总体花粉浓度降低, 而且该期间孢粉组合中没有出现与人类影响活动有关的孢粉类型, 所以初步推断导致浑善达克沙地的环境变化主要为自然原因。

4 000 ~ 2 000 aBP 期间, 由 A/C 比值的波动可以看出, 该地区存在着几次小规模湿润和干旱的气候波动。为了取得更好的分析结果, 应进一步选择该剖面中孢粉保存好的层位进行加密分析, 更好地恢复当时植被及弄清气候波动状况, 探讨本研究区域的植被演化状况。

在剖面中 45 ~ 59 cm(2 000 ~ 1 460 aBP)的孢粉样品中出现了花粉总数急剧下降的现象, 所以从孢粉百分图谱上来看, 该时期内出现一个巨大的花粉百分含量峰值。那么这种变化是由于气候事件还是其它原因造成, 有待于进一步研究与探讨。

本研究也存在着一些不足, 通过单一的孢粉的分析不一定准确地恢复当时的古植被, 而且在此历

史期间，人为影响究竟占多大比例，因缺少足够的考古学记录，尚不得而知。我们将会在今后的研究中更进一步探讨这些问题。

参 考 文 献

Dong, Y. X. (董玉祥) & Y. H. Liu (刘毅华). 1993. Study on the sandy desertification process of Hunshandake sandy land in recent 5000 years. *Arid Land Geology*(干旱区地理), **16** (2): 45 ~ 51. (in Chinese with English abstract)

Huang, C. X. (黄赐璇). 1991. The change of the physical environment of southern Maowushu sandy land during Holocene. *Geographical Research* (地理研究), **10**(2): 52 ~ 59. (in Chinese with English abstract)

Li, H. Z. (李华章). 1991. On characteristics of Holocene environmental vicissitudes of agro-animal husbandry transitional zone in north China. *Journal of Beijing Normal University* (Natural Science Edition) (北京师范大学学报(自然科学版)), **27**: 103 ~ 109. (in Chinese with English abstract)

Li, S. (李森), W. Sun (孙武), X. Z. Li (李孝泽) & B. Zhang (张勃). 1995. Sedimentary characteristics and environmental evolution of Otindag sandy land in Holocene. *Journal of Desert Research*(中国沙漠), **15**: 323 ~ 331. (in Chinese with

English abstract)

Liu, H. Y., H. T. Cui, R. Pott & M. Speier. 1999. Surface pollen of the woodland-steppe ecotone in the southeastern Inner Mongolia, China. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **105**: 237 ~ 250.

Ma, Y. Z. (马玉贞), H. C. Zhang (张虎才) & J. J. Li (李吉均). 1998. On the evolution of the palynoflora and climatic environment during late Pleistocene in Tengger desert, China. *Acta Botanica Sinica*(植物学报), **40**: 871 ~ 879. (in Chinese with English abstract)

Ren, G. Y. (任国玉) & L. S. Zhang (张兰生). 1997. Late Holocene vegetation in Maili region, Northeast China, as ingerred from a high-resolution pollen record. *Acta Botanica Sinica*(植物学报), **39**: 353 ~ 362. (in Chinese with English abstract)

Shi, Y. F. (施雅风). 1992. The climates and environments of Holocene Megathermal in China. Beijing: China Ocean Press. 161 ~ 167. (in Chinese)

The comprehensive scientific expedition to Ningxia, CAS (中国科学院宁夏综合考察队). 1985. *Flora of Inner Mongolia*. Beijing: Science Press. 787 ~ 833. (in Chinese)

Yang, Z. R. (杨志荣). 1998. The preliminary study on the climate and environment during the Megathermal of the Holocene in the middle-west Inner Mongolia. *Scientia Geographica Sinica* (地理科学), **18**: 479 ~ 485. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 倪 健 责任编辑: 姜联合

欢迎订购《中国生态学》

《中国生态学》是作者所创立的新学科，是继“中医”之后具有独立地位、有中国特色的自然科学体系。其学术创新在于建立有中国特色的生态学理论体系。全书分为三篇，第一篇介绍了中国生态学的概念和理论；第二篇为中国生态学的应用与发展；第三篇回顾总结了中国古代的生态学理论和实践。作者详细论述了“中国生态学”的基本概念和基本理论，概述了“中国生态学”的模型系统，探讨了中国传统文化的生态学原理以及中国古代生态学思想对现代科学、文化等各个方面的深刻影响。特别是对于儒家和道家的生态学思想、中国的古代的山水诗词和山水画的科学价值、“风水理论”的生态学依据、中国古代园林的设计理论以及建筑思想都有独到的见解，并用“中国生态学”的概念和理论对现代生态学的有关问题进行了阐释。最后，作者提出了生态学的统一理论和生命科学的大统一理论。

本书可供从事生态学、生命科学、环境科学、科学史、文化史、中国传统文化，包括传统哲学、美学、文学、医学、易学、经学等领域的研究人员参考，也可用作大学相关专业学生和研究生学习参考书。

邮购汇款地址：兰州市天水路 298 号兰州大学生命科学学院甘肃省植物学会(邮政编码：730000)

联系人：徐世健，刘艳红

电话：0931 - 4967180 传真：0931 - 4967178

E-mail: liuyh@gssct.gov.cn; xutxzylm@163.com 手机：13038769251; 13919170189