1.08 Ma 以来中国东北赤峰地区黄土粒度变化及其揭示的沙地扩张事件

吕安琪[1]，鹿化煜[1,2]，曾 琳[1]，弋双文[1]，卓海昕[1]，
徐志伟[1]，张文超[1]

（1. 南京大学 地理与海洋科学学院，江苏 南京 210023；2. 中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心，北京 100101）

摘要：科尔沁和浑善达克沙地周边沉积了中国东北地区目前已知的保存完好、沉积年代最久远的黄土，是研究区域干旱化过程和沙地演化的理想材料。通过对内蒙古自治区赤峰市附近约 1.08 Ma 以来约 60 m 厚黄土剖面的高分辨率粒度分析，发现该地区黄土具有典型风成沉积特征，并且其沉积过程受东亚季风在冰期-间冰期周期性变化影响。由于距离粉尘源区较近，这些黄土序列记录了中更新世以来冬季风增强导致的源区沙漠/沙地的阶段性干旱化和发生于～670 ka 和～943 ka 的两次沙漠/沙地扩张事件。新揭示的干旱化事件与中国西部－中部的环境演变过程一致，可能是中更新世气候转型时期阶段性全球冰量增加、温度降低驱动中国东北地区更新世气候演化的结果。

关键词：中国东北；科尔沁沙地；浑善达克沙地；黄土；粒度；冬季风

文章编号：1000-694X(2017)04-0659-07 **DOI**：10.7522/j.issn.1000-694X.2017.00048

中图分类号：P531 **文献标志码**：A

0 引言

中国黄土沉积具有分布广泛、沉积相对连续、时间跨度大等特点[1-2]，与深海沉积物、极地冰芯共同构成全球古气候变化研究的三大档案[3-4]。一方面，黄土-古土壤序列的粒度记录了亚洲季风系统的建立和发展，可以提取北半球中纬度地带古风场乃至古大气环流变化的重要信息[3,5-6]。另一方面，黄土与沙漠、沙地在成因和演变过程中具有耦合关系，亚洲粉尘源自中亚内陆区广泛分布的荒漠地带，通过排放、传输并堆积在下风方向，形成黄土-古土壤序列，被广泛用于研究亚洲内陆阶段性干旱化过程和自然环境的变迁[6-7]。

通过对沙地下风向的黄土堆积的沉积记录开展研究，可以反演沙漠/沙地的形成与扩张、收缩过程[5,8-9]。中国东北地区的黄土分布在浑善达克沙地、科尔沁沙地、松嫩沙地和呼伦贝尔沙地的下风向，披覆于丘陵与河谷中[1]，地层出露较好[10-12]。由于距离源区较近且质地较粗，黄土地层中常夹古风成沙，或发育砂质黄土或砂质古土壤[13-15]，其沉积过程主要受到东亚冬季风环流和沙地干燥程度影响，可能包含了粉尘源区的演化信息。

同时，中国东北地区位于季风区-非季风区的过渡地带，对气候环境变化比较敏感。由于纬度较高，受北极冰盖等高纬因素影响显著，东北地区是研究东亚季风系统对高低纬相互作用响应的理想地区[10,15-16]。另外该区黄土位于亚洲内陆典型风成黄土分布区的东端，是亚欧大陆黄土带的重要组成部分。因此，对该区黄土记录的解译有助于扩充目前对于黄土分布时空演化的认识，拓展全球黄土与环境研究的空间范围[17]。

目前，对于东北地区黄土的地层、年代、磁化率、粒度及有机碳同位素组成的研究，获得了一些对古气候变化和植被演替的新认识[10,12,15-16,18-19]。特别是近年来，我们在东北地区发现了一些较厚的黄土沉积剖面，并且开展了地层和年代学研究。曾琳等[10]利用古地磁定年，首次建立了该地区黄土剖面百万年以来的时间标尺，将其沉积底界初步定在～1.0 Ma；其后，将该区黄土沉积的年龄底界进一步推进到了～1.22 Ma[18]。Yi 等[12,15]利用石英单片再生剂量法和钾长石红外后红外释光法的对比，对末次冰期以来该区气候演变进行了更精确的分析。

收稿日期：2017-04-05；**改回日期**：2017-06-05

资助项目：国家自然科学基金重大项目(41690111)；国家重点研发计划项目(2016YFA0600503；2016YFE0109500)。

作者简介：吕安琪(1994—)，女，黑龙江哈尔滨人，硕士研究生，从事自然地理学研究。E-mail：geolvanqi@163.com

通信作者：鹿化煜(E-mail：huayulu@nju.edu.cn)

鹿化煜等[16]通过分析剖面的有机碳同位素和有机质含量，首次对赤峰地区黄土所记录的古植被信息及其影响因素进行了讨论。从目前已发表的工作来看，东北地区的黄土长时间尺度且连续的古气候记录仍然较少。本文将选取目前所获得距离周边沙漠/沙地最近的三把火剖面，对其粒度进行分析，并讨论其粒度组成的古气候意义，以期揭示其周边沙漠/沙地的演化过程。

1 研究样品及分析方法

三把火(SBH)剖面(42°18.27′N，118°41.17′E)位于赤峰市西部的初头朗镇境内，黄土披覆于阴河与舍力嘎河交汇处的河谷的分水岭上(图 1)。当地年平均降水量 365 mm，年平均气温 7.3 ℃(数据来源：中国地面国际交换站气候资料年值数据集赤峰站 1951—2013 年数据)。剖面上部为人工取土形成的 47.9 m 露头，下部为 12 m 的探井，未见底。剖面总厚度为 59.9 m，划分成 11 个黄土-古土壤地层单元。剖面上半部分由粗颗粒棕黄色黄土及红棕色古土壤层的旋回组成，下部整体颜色偏红，发育多层钙结核。

为便于与其他古气候记录对比，避免不同沉积记录之间相位偏差带来的干扰，在此选用 SBH 剖面顶部 3 个已知的光释光年龄及古地磁分析结果(B/M 界线位于深度约 31 m 处)作为年代控制点[12]，并通过对比磁化率曲线与深海氧同位素曲线[20]，利用磁化率曲线中具有明显的从峰到谷或者从谷到峰快速转变的中点与其对应的 MIS 边界，来获得年龄控制点。利用这些时间控制点，按照沉积速率线性插值和外推，得到 SBH 剖面的时间标尺[18]，底部年龄约为1 080 ka[18]。

对 SBH 剖面以 5 cm 为间隔进行取样，共获得 1200 余个样品。样品的粒度测试在南京大学地理与海洋科学学院地表过程与环境实验室完成。前处理采用目前较为通用的方法[21]，使用仪器为 Mastersizer2000型激光粒度仪，该仪器测量范围为0.02～2 000 μm，多次重复测试误差小于 3%。

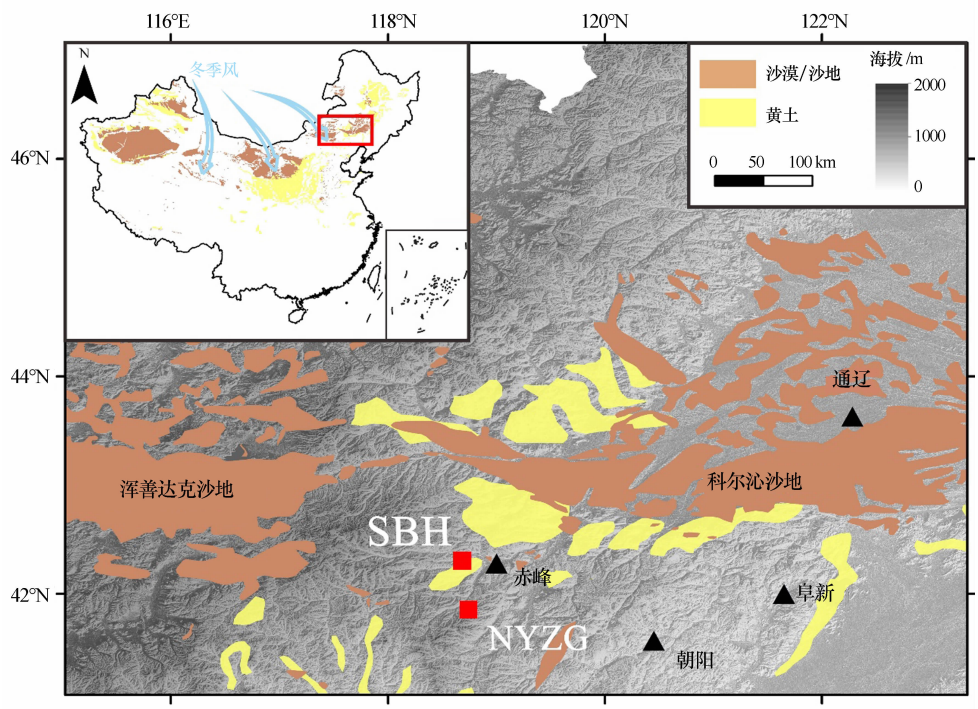


图 1 研究区域位置及采样点分布(SBH：三把火剖面；NYZG：牛羊子沟剖面)

Fig. 1 The study area and sample site

2 粒度参数及变化特征

从图 2 可以看出，SBH 剖面样品呈现与黄土高原黄土类似的三峰特征[22]，主要的众数粒径峰值为粗颗粒组分，总体分布在 30～120 μm，平均为 71 μm，另外在 7 μm 左右(细粒组分)和小于 1 μm(超细粒组分)处还有两个次级峰。粗颗粒组分的峰值粒径远高于黄土高原的黄土，代表了尘暴从近源搬运的粉尘，而细颗粒峰值代表季风正常搬运的粉尘。此外，在<2 μm 的黏土粒级部分存在一个超细粒组分，可能与成壤作用产生的次生黏土矿物有关[22]。这些特征说明，SBH 剖面黄土与黄土高原的典型黄土一样为风成沉积，但搬运过程及方式可能有所

不同。

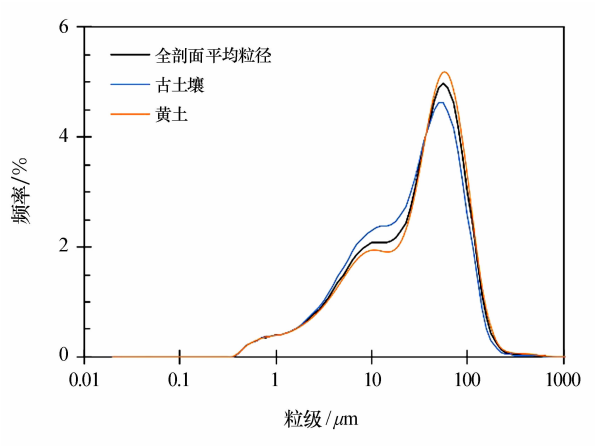


图 2　SBH 剖面黄土、古土壤样品及全剖面粒度的平均频率分布曲线

Fig. 2　Average grain size distribution of the loess and paleosol samples and all samples from the SBH section

SBH 剖面中值粒径变化范围为 9.53～82.25 μm，古土壤层相对于相邻的黄土层粒径偏细、砂含量偏低(图 3)。黄土层和古土壤层中值粒径的平均值分别为 40.14 μm 和 33.85 μm。整个剖面样品砂含量变化范围为 3.1%～64.8 %，接近一半的样品含量在 30%以上。以深度 25.4 m 和 41.6 m 为界限(年代分别对应 670 ka 和 943 ka)，剖面粒度变化可明显分为 3 个阶段。

41.6 m 之下的部分(S11 底部至 S9 顶部)，粒度整体较小，砂粒级含量较低，随剖面深度变化不明显，变化范围为 3.1%～19.2%，平均为 11.1%。25.4 m～41.6 m 阶段(S9 顶部至 L6 底部)，黄土和古土壤的粒度都开始变粗，且砂粒组分开始明显增多。随着深度减小，砂粒组分变化幅度逐渐增大，含量变化为 13.0%～38.2%，平均为 25.4%。从 L6 底部到剖面顶部段，粒度整体很粗，砂粒含量组分进一步增加，且明显高于下半段。砂粒含量变化范围为 22.5%～64.8%，平均为 41.4%。本段黄土层与古土壤层的差别显著，黄土层中砂含量远高于古土壤层中含量。

总体上说，SBH 剖面黄土粒度组成以砂粒级为主导，并随深度减小、砂粒含量逐渐增加，其中在 25.4 m 和 41.6 m 处黄土的粒度组成发生了明显变化。

3　SBH 剖面粒度的古气候意义

黄土通常堆积于沙漠/沙地的下风向，其沉积过程与气候变化和沙漠范围有着直接的联系[23]。黄土剖面的粒度曲线随着黄土-古土壤旋回的变化反映了冰期与间冰期气候的变化[1]，较粗颗粒的百分含量被认为是冬季风强度变化的替代性指标，高值对应于冬季风较强的气候阶段[24－25]。与黄土高原典型的洛川黄土剖面[26]相同，SBH 剖面的粒度随剖面深度呈现明显变化，记录了东亚季风在冰期-间冰期旋回中的强弱变化。在冰期阶段，东亚冬季风盛行，气候较干冷，剖面沉积粒度较粗的黄土；在间冰期阶段，东亚夏季风主导，气候温暖湿润，风化成壤作用加强，因此发育颗粒较细的古土壤。从整体变化来看，SBH 剖面的中值粒径和>63 μm 组分的百分含量分别于～670 ka 和～943 ka 发生了明显的变化，因此整个剖面粒度记录所指示的气候变化可以分为 3 个阶段。从～1 080 ka至～943 ka，粒度较小且变化幅度较小，反映该区域在这段时间气候比较暖湿，气候波动不明显。从～943 ka 至～670 ka，气候趋于不稳定，干冷的冰期与暖湿的间冰期之间的对比增强，并有逐渐干旱化趋势。从～670 ka 到现在，粒度整体很粗，反映了这段时间冬季风继续增强，持续的干冷气候开始控制这一区域。

除受冬季风影响外，黄土粒度还受粉尘源区干旱程度的影响。对黄土高原末次间冰期以来的黄土剖面的粒度研究表明，从西北到东南距离源区越远，黄土粒度存在逐渐变细的趋势，这反映了黄土粒径变化与源区距离的关系[25]。对毛乌素沙漠南侧末次冰期以来的黄土剖面研究发现，黄土的粒度变化除受冬季风强度影响外，还受到源区沙地覆盖范围的影响。>63 μm 组分百分含量的变化可以指示沙漠面积和边界的变化，间接反映沙漠在空间上的扩张与收缩变化，是粉尘源区干旱程度的指标[8－9,27]。

SBH 剖面黄土的形成与堆积主要与其源区科尔沁沙地和浑善达克沙地紧密相关。Sr-Nd 同位素示踪测试结果表明，东北地区黄土与浑善达克沙地和科尔沁沙地的物质特征接近，说明该地区黄土具有近源性，来自其上风向的临近干旱区[28]。碎屑锆石示踪法对科尔沁沙地及其外围黄土末次冰期样品进行的示踪研究，也表明该区黄土是由近地表风搬运的近源粉尘堆积，主要源区为科尔沁沙地[29]。与研究点附近的牛羊子沟(NYZG)剖面(图 1)相比[19]，SBH 剖面砂粒级含量也更高。赤峰市常年盛行西北向风，携带颗粒从科尔沁沙地和浑善达克沙地向下风向堆积时，先在距离较近的 SBH 剖面沉积，随后才到达NYZG剖面，因此粒度分布受到源

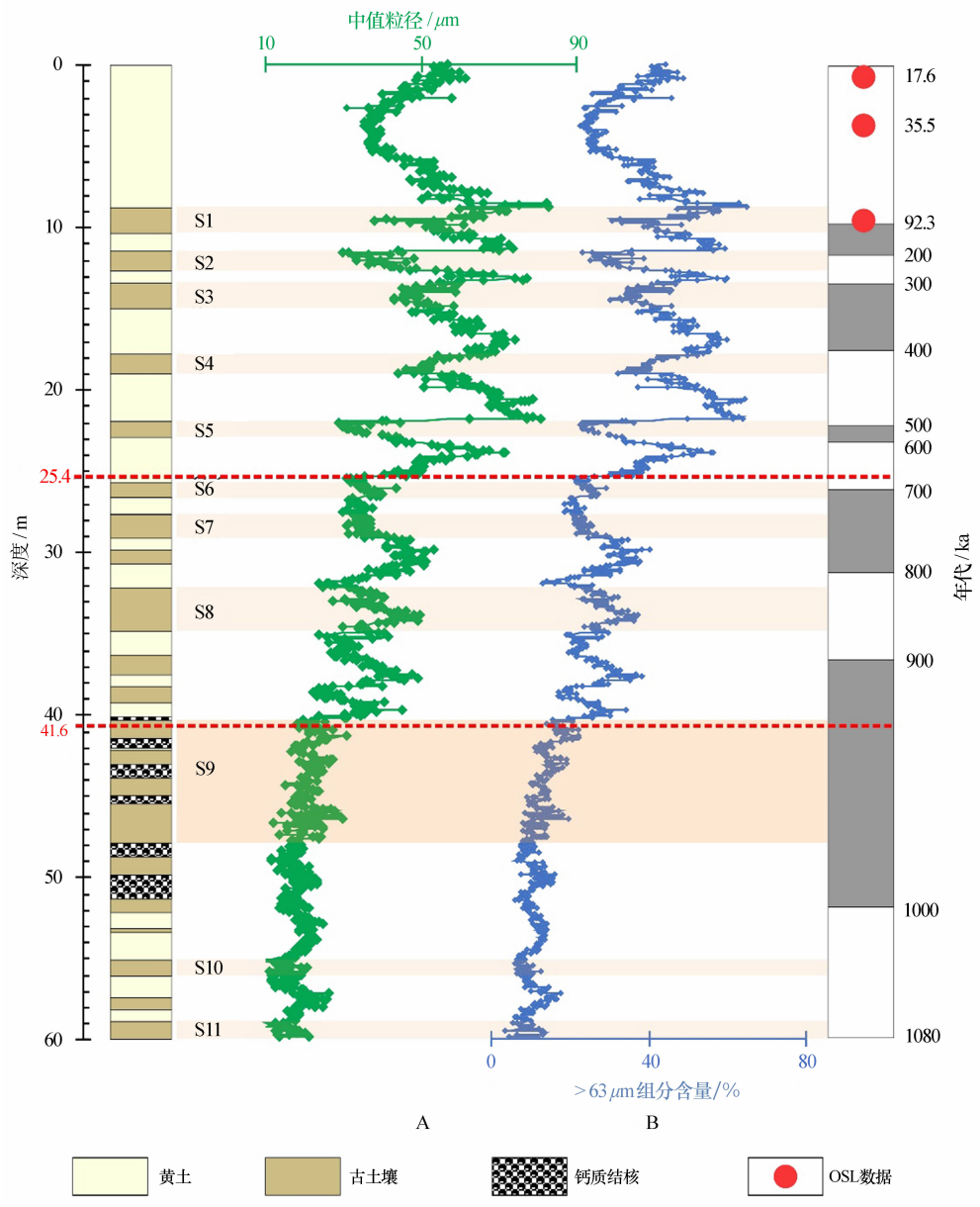


图 3 SBH 剖面地层、中值粒径及>63 μm 组分随深度变化及对应年代

Fig. 3 Pedostratigraphy, variations of median size, >63 μm fractions and age model for the SBH section

区面积变化的影响明显。可以推测,东北黄土类似于黄土高原北部沙地边缘的黄土,其砂粒级(>63 μm)百分含量可以指示沙地边界和粉尘源区干旱程度的变化。

SBH 剖面>63 μm 的组分在~670 ka 和~943 ka 发生两次快速增加,可能反映了科尔沁-浑善达克沙地沉积体系在这一时期存在干旱化的阶段性增强,沙地面积发生两次扩张(图 4A)。并且,该粒度参数揭示整个研究区在过去约 1.08 Ma 以来干旱度逐渐增加。SBH 剖面位于东亚季风边缘地带,东亚季风的变化影响沙地植被的变化。在冬季风增强的冰期,沙地有机质含量较低[30],表面植被覆盖程度降低,为地面的风蚀提供有利条件,黄土中的近源性粗颗粒含量也随之增加。~1.0 Ma 以来 NYZG 剖面黄土的砂粒级含量同样有大致增加的趋势(图 4B),同样记录了中更新世以来东北地区的干旱化过程,NYZG 剖面的粒度还反映了发生于~0.65 Ma 和 0.3 Ma 的两次沙漠演化事件[19],与 SBH 剖面记录的沙漠化事件时间有所差异,这可能与距离源区不同导致的粗颗粒沉降通量不同有关,此外两个剖面位于不同流域的河谷之上,地势起伏与植被覆盖程度不同,受微地貌形态影响,粗细颗粒的沉降活动在两个剖面也存在差异[31]。

SBH 及 NYZG 剖面黄土所记录的中更新世以

来源区沙地扩张及干旱化的过程，在中国中部及西部地区的黄土记录中也有所反映。靖边黄土粒度的记录表明，毛乌素沙地在～1.1 Ma 和～0.6 Ma 发生了两次阶段性扩张（图 4C）[9]。位于塔克拉玛干沙漠南缘的西昆仑山黄土＞63 μm 组分分别在～0.9 Ma 和～0.6 Ma 之后发生明显增加（图 4D）[32−33]。此外，北太平洋粉尘通量也可以反映亚洲内陆干旱区范围变化，ODP 885 钻孔的粉尘通量曲线显示，1.0～0.6 Ma 期间总体通量较低（图 4E），在～0.6 Ma 后持续增加，表明中国内陆地区中更新世以来干旱化程度的增强[34]。

深海氧同位素记录了全球冰量和温度的变化，自晚上新世北半球冰盖形成以来，全球冰量具有逐渐增加的趋势（图 4F）[20]。其中，在中更新世气候转型时期（MPT，1.25～0.7 Ma），全球冰量增加了约 15%且持续变冷。SBH 剖面黄土记录的源区沙漠/沙地的同期扩张及干旱度增加可能正是中国东部地区对这一气候转型事件的响应结果。全球气候相对较冷时，两极和赤道地区之间温度梯度差增加，导致北半球西风急流加强。与此同时，北半球中纬地区寒潮显著增强，导致向内陆输送的降水量发生变化，携带更多粉尘在下风向沉积。

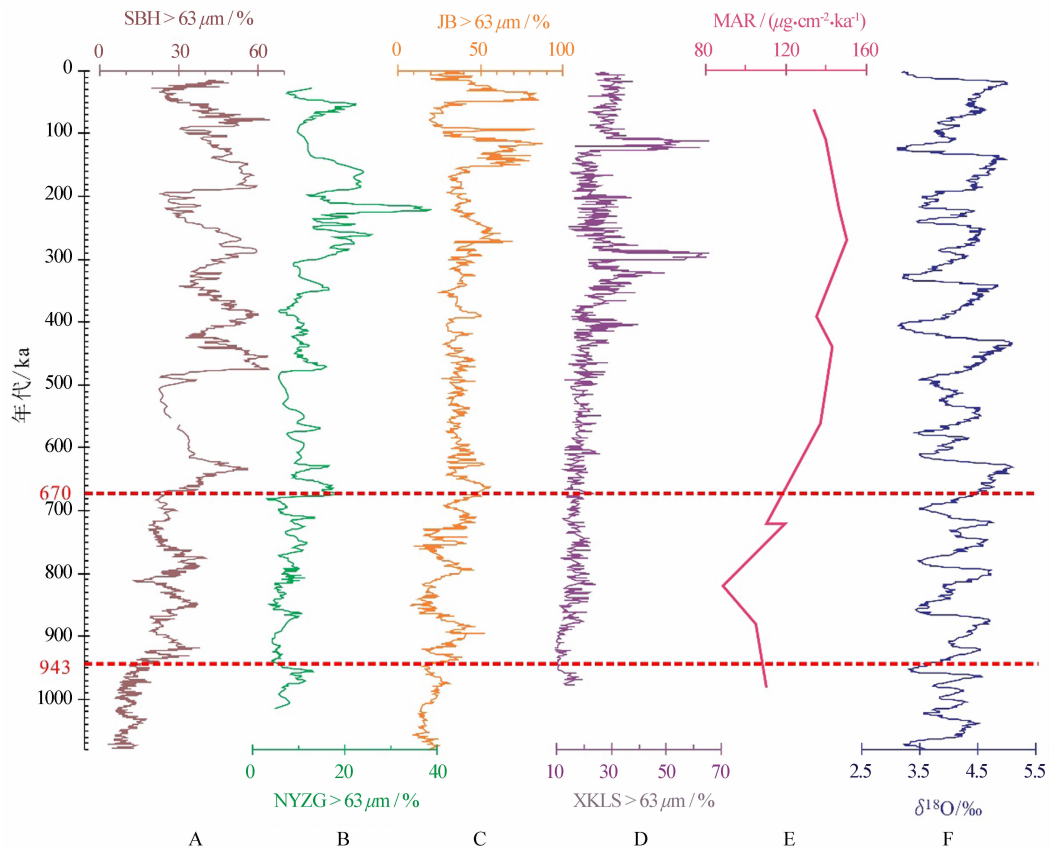


图 4　SBH 剖面与其他地区环境变化记录对比（A：SBH 剖面＞63 μm 组分；B：NYZG 剖面＞63 μm 组分[19]；C：靖边剖面＞63 μm 组分[9]；D：西昆仑山剖面＞63 μm 组分[32−33]；E：北太平洋粉尘通量（ODP 885）[34]；F：深海氧同位素[20]）

Fig. 4　Variations of percentage content of ＞63 μm fractions of the SBH section (A), NYZG section [19] (B), Jingbian section[9] (C), Xikunlunshan section (D, edited according to [32−33]), mass acculumation rate (MAR) of aeolian deposits from the North Pacific Ocean (ODP 885)[34] (E), and LR04 benthic $\delta^{18}O$ stack[20] (F)

因此，这一时期全球变冷促使中亚地区变干，粉尘颗粒排量大幅增加[6]。同时，海平面下降，水汽的来源地与内陆距离增加，海陆水汽循环减弱，水汽输送量减少，因此进一步加剧亚洲内陆沙漠扩张。东北地区黄土与其他沉积序列可能同样记录了中更新世气候转型时期以来北半球高纬度地区变冷和冰量增加对～1.0 Ma 以来亚洲内陆的干旱化过程的深远影响，这一机制与前人提出的高纬驱动亚洲内陆干旱化假说一致[6,9,35−36]。不同地区发生的快速沙漠化事件在黄土剖面粒度中记录的差异，可能是因为黄土本身沉积存在间断，导致记录气候变化事件分辨率不同；也可能是不同沉积体系的沙漠演化本

身受局地气候影响的结果[37]。

4 结论

东北赤峰地区黄土记录了～1 080 ka 以来东亚季风在这一地区随冰期-间冰期旋回的周期性变化，并记录了科尔沁和浑善达克沙地的持续干旱化过程及发生于～670 ka 和～943 ka 的两次显著扩张事件。这一变化是全球冰量增加及温度降低在影响东北地区环境的结果，与中国西－中部中更新世以来逐步增强的干旱化过程机制一致。

致谢：感谢冯晗、崔梦淳、杨传彬等在野外考察和实验室测试中给予的帮助。

参考文献：

[1] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京：科学出版社，1985：1－481.

[2] Guo Z，Ruddiman W，Hao Q，et al. Onset of Asian desertification by 22 Myr ago inferred from loess deposits in China[J]. Nature，2002，416(6877)：159－163.

[3] Liu T，Ding Z. Chinese loess and the paleomonsoon[J]. Annual Review of Earth & Planetary Sciences，1998，26(26)：111－145.

[4] An Z，Wu G，Li J，et al. Global monsoon dynamics and climate change[J]. Annual Review of Earth & Planetary Sciences，2015，42(1)：29－77.

[5] 鹿化煜，安芷生，刘洪滨，等. 洛川黄土记录的最近2 500 ka 东亚冬夏季风变化周期[J]. 地质论评，1998，44(5)：553－558.

[6] Lu H，Wang X，Li L. Aeolian sediment evidence that global cooling has driven late Cenozoic stepwise aridification in central Asia[J]. Geological Society London Special Publications，2010，342：29－44.

[7] 鹿化煜，王先彦，李郎平. 晚新生代亚洲干旱气候发展与全球变冷联系的风尘沉积证据[J]. 第四纪研究，2008，28(5)：949－956.

[8] Ding Z，Sun J，Rutter N，et al. Changes in sand content of loess deposits along a North-South transect of the Chinese Loess Plateau and the implications for desert variations[J]. Quaternary Research，1999，52(1)：56－62.

[9] Ding Z，Derbyshire E，Yang S，et al. Stepwise expansion of desert environment across northern China in the past 3.5 Ma and implications for monsoon evolution[J]. Earth & Planetary Science Letters，2005，237(1/2)：45－55.

[10] 曾琳，鹿化煜，弋双文，等. 我国东北地区黄土堆积的磁性地层年代与古气候变化[J]. 科学通报，2011，56(27)：2267－2275.

[11] Yi S，Lu H，Stevens T. SAR TT-OSL dating of the loess deposits in the Horqin dunefield (northeastern China)[J]. Quaternary Geochronology，2012，10(7)：56－61.

[12] Yi S，Buylaert J，Murray A，et al. High resolution OSL and post-IR IRSL dating of the last interglacial-glacial cycle at the Sanbahuo loess site (northeastern China)[J]. Quaternary Geochronology，2015，30：200－206.

[13] 裘善文. 试论科尔沁沙地的形成与演变[J]. 地理科学，1989，9(4)：317－328.

[14] 董光荣，金炯，李保生，等. 科尔沁沙地沙漠化的几个问题：以南部地区为例[J]. 中国沙漠，1994，14(1)：1－9.

[15] 弋双文，鹿化煜，周亚利，等. 晚第四纪科尔沁沙地干湿变化的黄土记录[J]. 中国沙漠，2006，26(6)：869－874.

[16] 鹿化煜，张红艳，曾琳，等. 温度影响东北地区更新世植被变化的黄土记录[J]. 第四纪研究，2015，35(4)：828－836.

[17] Vandenberghe J，Renssen H，Huijssteden K，et al. Penetration of Atlantic westerly winds into Central and East Asia[J]. Quaternary Science Reviews，2006，25(17/18)：2380－2389.

[18] Zeng L，Lu H，Yi S，et al. New magnetostratigraphic and pedostratigraphic investigations of loess deposits in north-east China and their implications for regional environmental change during the Mid-Pleistocene climatic transition[J]. Journal of Quaternary Science，2016，31(1)：20－32.

[19] Zeng L，Lu H，Yi S，et al. Long-term Pleistocene aridification and possible linkage to high-latitude forcing：new evidence from grain size and magnetic susceptibility proxies from loess-paleosol record in northeastern China[J]. Catena，2017，154：21 32.

[20] Lisiecki L E，Raymo M E. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}O$ records[J]. Paleoceanography，2005，20(1)：1－16.

[21] 鹿化煜，安芷生. 洛川黄土粒度组成的古气候意义[J]. 科学通报，1997，42(1)：66－69.

[22] Lu H，Vandenberghe J，An Z. Aeolian origin and palaeoclimatic implications of the 'red clay' (north China) as evidenced by grain-size distribution[J]. Journal of Quaternary Science，2001，16(1)：89－97.

[23] 丁仲礼，孙继敏. 联系沙漠-黄土演变过程中耦合关系的沉积学指标[J]. 中国科学，1999，29(1)：82－87.

[24] Ding Z，Liu T，Rutter N W，et al. Ice-volume forcing of East Asian Winter Monsoon variations in the past 800 000 years[J]. Quaternary Research，1995，44(2)：149－159.

[25] 鹿化煜，安芷生. 黄土高原黄土粒度组成的古气候意义[J]. 中国科学：地球科学，1998，(3)：278－283.

[26] Lu H，Zhang F，Liu X，et al. Periodicities of palaeoclimatic variations recorded by loess-paleosol sequences in China[J]. Quaternary Science Reviews，2004，23(18)：1891－1900.

[27] Lu H，Yi S，Xu Z，et al. Chinese deserts and sand fields in Last Glacial Maximum and Holocene Optimum[J]. Science Bulletin，2013，58(23)：2775－2783.

[28] 陈骏，李高军. 亚洲风尘系统地球化学示踪研究[J]. 中国科学：地球科学，2011，41(9)：1211－1232.

[29] 谢静，杨石岭，丁仲礼. 黄土物源碎屑锆石示踪方法与应用[J]. 中国科学：地球科学，2012，42(6)：133－143.

[30] Lu H，Zhou Y，Liu W，et al. Organic stable carbon isotopic composition reveals late Quaternary vegetation changes in the dune fields of northern China[J]. Quaternary Research，2012，77(3)：433－444.

[31] 胡亚萍，贾玉连，张智，等. 粒度揭示的末次间冰期以来长江中游风沙－风尘体系[J]. 中国沙漠，2013，33(5)：1324－1332.

[32] Zan J，Fang X，Yang S，et al. Evolution of the arid climate in High Asia since ～1 Ma：evidence from loess deposits on the surface and rims of the Tibetan Plateau[J]. Quaternary International，2013，313－314(4)：210－217.

[33] 眷金波，杨胜利，方小敏. 西昆仑山黄土 1 Ma 以来的粒度变化特征及其古气候意义[J]. 地球环境学报，2014，5(2)：120－126.

[34] Rea D K，Snoeckx H，Joseph L H. Late Cenozoic eolian deposition in the North Pacific：Asian drying，Tibetan uplift，and cooling of the northern hemisphere[J]. Paleoceanography，1998，13(3)：215－224.

[35] Lu H，Guo Z. Evolution of the monsoon and dry climate in East Asia during late Cenozoic：a review[J]. Science China Earth Sciences，2014，57(1)：70－79.

[36] Zhang W，Chen J，Ji J，et al. Evolving flux of Asian dust in the North Pacific Ocean since the late Oligocene[J]. Aeolian Research，2016，23：11－20.

[37] 沈亚萍，张春来，李庆，等. 中国东部沙区表层沉积物粒度特征[J]. 中国沙漠，2016，36(1)：150－157.

Evolution of Horqin and Otindag Dune Fields since 1.08 Ma Recorded by Grain Size of Loess in Chifeng，Northeastern China

Lyu Anqi[1]，Lu Huayu[1,2]，Zeng Lin[1]，Yi Shuangwen[1]，
Zhuo Haixin[1]，Xu Zhiwei[1]，Zhang Wenchao[1]

(1.School of Geographic and Oceanographic Sciences，Nanjing University，Nanjing 210023，China；2.CAS Center for Excellence in Tibetan Plateau Earth Sciences，Beijing 100101，China)

Abstract：Extensive loess deposits that mantle on various landscapes are found in the adjacent areas of the Horqin and Otindag dune fields，which should record the aridificaion history and desert evolution in Northeastern China. Here，we present a high-resolution grain-size analysis of a 59.9-m-thick loess-paleosol sequence in the south margin of Horqin and Otindag sand fields that covers the ca. 1.08 Myr (1 080 kyr). The grain-size distribution of these loess deposits shows typical features of aeolian deposits，and records the cyclical variations of the East Asian winter monsoon and dune fields during glacial-interglacial cycles. It also demonstrates a long-term drying trend caused by the strengthening East Asian winter monsoon in Northeastern China since ca. 1.08 Ma. The Horqin and Otindag dune fields expanded in ca. 670 ka and ca. 943 ka. These drying events correspond with other records in the western and central China. It may reflect that the increase of northern hemisphere ice volume and global cooling should have forced the stepwise aridification and caused dune field extension to the Southeast China since the Mid-Pleistocene Transition Event.

Key words：Northeastern China；Horqin dune field；Otindag dune field；loess；grain size；winter monsoon