

(17) 157-162

中国黄土区东亚古季风气候与冰期气候对比研究<sup>†</sup>

岳乐平

(西北大学地质学系, 710069, 西安; 48岁, 副教授)

P532  
P534.63

**摘要** 研究了我国黄土区冰期气候与季风气候记录;进行了黄土磁化率与大洋 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线对比,并且将黄土组合—古土壤组合与冰期—间冰期气候进行了比较。结果表明:黄土组合与古土壤组合记录了冰期气候与间冰期气候;中国黄土—古土壤堆积是全球冰期—间冰期气候变化与东亚古季风气候变化共同作用的结果。

**关键词** 冰期气候; 东亚季风; 中国黄土

**分类号** P53; P532; P534.63

第四纪

冰期—间冰期气候波动是第四纪全球气候的变化特征,而东亚季风(或称中国季风)则是中国大陆的气候因素。因此,全球冰期—间冰期气候与东亚季风气候对中国大陆的双重作用、各自的作用结果以及两者的关系是目前中国第四纪气候环境研究的热点<sup>[1~8]</sup>。

上新世末—第四纪初(3.00 Ma),青藏高原海拔已达2 400~3 000 m<sup>[9]</sup>,现代东亚季风格局形成并增大了活动强度和范围。安芷生、吴锡浩等提出了:中国黄土—古土壤序列是东亚季风作用的结果,认为最近2.40 Ma黄土序列中,古土壤应视为古夏季风占优势的气候记录,黄土则是冬季风占优势夏季风减弱的记录<sup>[1]</sup>。

第四纪以来,以冰期—间冰期旋回为代表的全球性气候变化十分显著,黄土高原虽无冰川可言,但全球性的冰期—间冰期气候必定影响黄土高原的气候环境。因而中国黄土记录了丰富的全球气候变化信息。由于黄土既记录了东亚季风的气候信息,又记载了以冰期—间冰期旋回为代表的全球气候变化信息,因此本文将分析黄土的气候记录,研究东亚古季风气候与冰期气候对黄土区共同作用的关系。

## 1 全球气候变化与黄土—古土壤序列

70年代,随着稳定同位素理论的不完善和分析测试技术的迅速提高,深海沉积物有孔虫、氧同位素的研究取得进展,建立了深海氧同位素曲线,使之成为大洋第四纪古气候的记录模式。近年来黄土—古土壤序列磁化率研究成果表明<sup>[9,10]</sup>,黄土—古土壤序列磁化率曲线可以更加完整、准确地反映古气候冷暖波动和作为大陆古气候的记录模式。关于大洋氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 的地球化学意义被认为是:深海沉积物氧同位素组分受大陆冰量所控制,当冰量加大,水温降低时出现较高的负异常值;当冰量减少,水温升高时则出现较低的负异常值。因此 $\delta^{18}\text{O}$ 的变化是古气候变化的直接反映,且能提供较完整的全球气候变化信息。黄土磁化率的地球物理意义,作者认为古土壤的高磁化率值是由于土壤化作用、铁磁性矿物富集,特别是细粒铁磁性矿物丰度提高造成的,当气候温暖湿润时,成壤作用加强,细颗粒的铁磁性矿物富集,引起古土壤高磁化率值;黄土则反之。因此,黄土—古土壤磁化率变化是古气候变化的直接反映。

国内外黄土磁化率研究结果表明,黄土磁化率曲线与大洋深海沉积物氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 波动曲线—

<sup>†</sup> 国家自然科学基金资助课题(49572133)

收稿日期:1997-07-04

致。图 1 是黄土高原地区典型黄土剖面咸阳剖面的黄土磁化率曲线与深海钻孔 V<sub>28-239</sub>  $\delta^{18}\text{O}$  曲线对比<sup>[11]</sup>, 古土壤对应的高磁化率值与显示相对温暖的  $\delta^{18}\text{O}$  高峰值一致, 二者具有相同的变化周期和时间同步。这反映黄土高原形成以来, 整个中国黄土分布区的气候环境变化主要受全球气候变化的影响, 当全球气候变暖时, 大洋水温升高, 造成  $\delta^{18}\text{O}$  负异常高峰值, 在大陆黄土区普遍形成土壤, 此时不仅属东亚季风控制区的黄土高原成壤作用加强, 欧洲、美洲、中亚地区的黄土分布区也普遍成壤; 当全球气候变冷时, 大洋水温变低, 大陆黄土区普遍堆积黄土。

因此, 作者认为黄土与古土壤的形成受全球气候冷、暖变化的影响, 黄土—古土壤序列是全球气候冷、暖波动的结果。

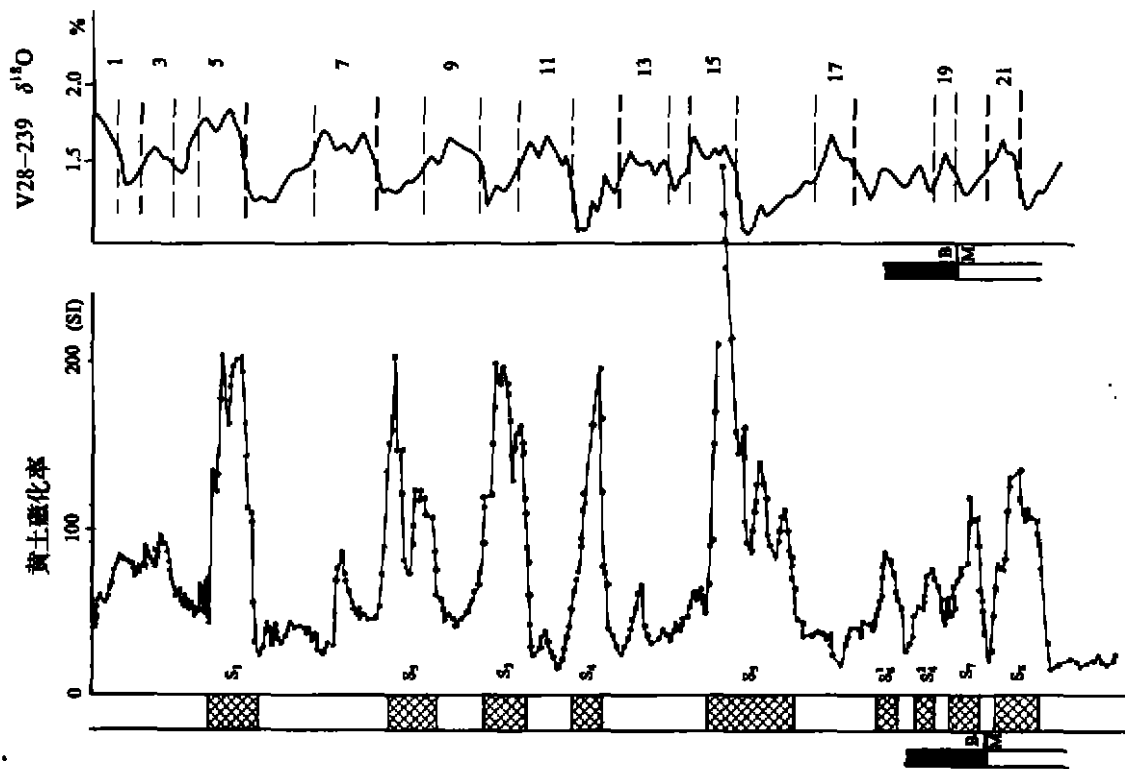


图 1 咸阳黄土剖面磁化率曲线(MS)与深海钻孔 A-V<sub>28-239</sub>  $\delta^{18}\text{O}$  曲线对比

Fig. 1 The Comparison between Magnetic Susceptibility Curve of Xianyang Loess Section and  $\delta^{18}\text{O}$  Curve on A-V<sub>28-239</sub> Drill

## 2 东亚古季风与黄土—古土壤序列

安芷生研究了季风与黄土高原的气候历史, 提出了古夏季风占优势时形成褐土型古土壤, 古冬季风占优势时堆积黄土的观点, 认为最近 2.40 Ma 黄土序列中褐土型古土壤应视为古夏季风占优势的气候

记录,而黄土是西北冬季风占优势,夏季风减弱的气候记录<sup>[1]</sup>。

作者亦认为,中国黄土高原处于东亚季风区,黄土—古土壤序列之形成必受东亚季风的影响;在古夏季风强盛时,温和湿润的夏季风向西北推进,在温湿气候条件下,黄土区成壤作用加强;由于夏季风在由东南向西北的推进过程中逐渐减弱,造成中国黄土区气候差异,各地古土壤发育程度不一致的状况。

黄土高原东南部,特别是秦岭北坡的宝鸡、蓝田、渭南、陕县一带,由于气候相对温暖湿润,成壤作用强,古土壤特别发育。如蓝田段家坡黄土剖面厚 132 m,黄土堆积延续 2.45 Ma 左右,含有 L—S 一级单位古土壤层 43 层( $S_0 \sim S_{42}$ ),二级单位古土壤层约 50 层;古土壤色调鲜艳,厚度大,土壤结构特别明显,具棱块、棱柱构造,节理表面具铁锰质胶膜,铁矿物含量高,钙质含量低;颗粒较细,粘土含量高,底部钙质结核多,并呈厚层状;常见古土壤复合现象,剖面古土壤总厚度大于黄土总厚度<sup>[12,13]</sup>。

西北部梁峁区与东南部相反。六盘山以西典型黄土剖面——靖远曹岘剖面厚 505 m,黄土堆积延续 1.40 Ma 左右,含有一级单位古土壤层 25 层( $S_0 \sim S_{24}$ ),二级单位古土壤层约 30 层;古土壤底部无钙质结核,仅仅表现为含钙量较高,或含零星小石膏结核;没有古土壤复合现象,全剖面古土壤总厚度远远小于黄土总厚度<sup>[14]</sup>。

中部黄土塬区情况介于东、西部之间。该区典型剖面洛川黑木沟黄土剖面厚 135 m,黄土堆积延续 2.30 Ma 左右,含有一级单位古土壤层 35 层( $S_0 \sim S_{34}$ ),二级单位古土壤层 38 层<sup>[5,15]</sup>;古土壤性质介于靖远剖面、兰州剖面与蓝田剖面、陕县剖面之间,近似于蓝田剖面古土壤性质。

西北黄土区堆积厚度明显大于东南部。晚、中更新世以来(0.73 Ma),兰州九洲台黄土堆积厚度是洛川黄土厚度的 3 倍多,是蓝田黄土的近 4 倍;西北部黄土颗粒较粗,南部黄土颗粒较细,反映了中国黄土堆积区的古气候景观为夏季风由东南向西北逐渐减弱的效应。即西北部寒冷干旱,东南部相对温暖湿润,而中部则居二者之间。

在古冬季风强盛时,干旱、寒冷的季风向东南推进,使冬季风携带的粉尘量加大,在干冷气候条件下整个中国黄土区黄土堆积作用加强。由于冬季风在由西北向东南移动过程中逐渐减弱,粉尘携带量逐渐减少,造成中国黄土区气候差异,各地黄土发育厚度不一致。如靖远、兰州一带黄土较厚,宝鸡、蓝田一带黄土较薄。

在东亚季风格局中冬季风盛行的西风携带沙漠区粉尘南下,途中由于风力减弱,能量降低造成粉尘沉降堆积,因此,中国黄土高原的黄土物质主要靠冬季风输送,当冬季风加强时黄土分布区向南扩展,黄土厚度加大;夏季风为东南风,为黄土区带来雨水,促成成壤作用,当夏季风加强时成壤作用加强。因此,黄土—古土壤序列亦可视为冬、夏季风交替占优势的气候记录。

### 3 黄土组合、古土壤组合与冰期、间冰期气候

中国黄土从开始堆积(2.45 Ma)以来,有过 40 多次周期为 1 万年尺度的气候冷暖波动,每次波动形成 L—S 一级单位黄土、古土壤各一层,反映了短周期的气候冷暖变化。

从黄土与古土壤层出现的频率中可见,某一时期以形成古土壤层为主,在古土壤层之间夹有薄层黄土;另一时期则以形成黄土为主,其间夹有古土壤层。作者将以黄土层为主的地层段称为黄土组合,以古土壤层为主的地层段称为古土壤组合。黄土组合与古土壤组合反映了周期为 10 万年尺度的气候冷暖波动,反映了全球气候的变化,是冰期气候与间冰期气候的产物。本节讨论的冰期气候不是指黄土区具有冰川作用,而仅指某一时期高纬度地区或高山地区冰盖或冰川扩展,全球变冷的气候作用。

当全球气候变冷时,冬季风比以往更加强烈,而夏季风较以往衰弱,形成黄土占优势的黄土组合。当全球气候变暖时,夏季风比以往更加强盛,而冬季风较以往衰弱,形成古土壤层占优势的古土壤组合。

作者根据黄土剖面黄土与古土壤的组合情况,将完整的黄土剖面分为 8 个黄土组合与 8 个古土壤组合,分别命名为:第一黄土组合至第八黄土组合:GL-1, GL-2, GL-3, GL-4, GL-5, GL-6, GL-7, GL-8;第一古土壤组合到第八古土壤组合:GS-1, GS-2, GS-3, GS-4, GS-5, GS-6, GS-7, GS-8(图 2)。每个黄土组合反映了一次冰期气候,而每个古土壤组合反映了一个间冰期气候,反映了

2.45 Ma 以来 8 次大的气候旋回。由图 2 可以看出,  $S_0$  (即 GS-1) 为冰后期气候;  $L_1$  (即 GL-1) 为末次冰期气候;  $L_3$  (即 GL-2) 为倒数第二次冰期气候;  $L_5$  (即 GL-3) 为倒数第三次冰期气候;  $L_9$  (即 GL-4) 为倒数第四次冰期气候;  $L_{15}$  (即 GL-5) 为倒数第五次冰期气候;  $L_{25} \sim L_{29}$  (即 GL-6) 为倒数第六次冰期气候;  $L_{34} \sim L_{36}$  (即 GL-7) 为倒数第七次冰期气候;  $L_{41} \sim L_{44}$  (即 GL-8) 为倒数第八次冰期气候。每次冰期气候的古地磁年龄如图 1 所示: 0.01 Ma~0.10 Ma (末次), 0.13 Ma~0.20 Ma (倒 I), 0.40 Ma~0.47 Ma (倒 II), 0.77 Ma~0.85 Ma (倒 III), 1.10 Ma~1.15 Ma (倒 IV), 1.50 Ma~1.65 Ma (倒 V), 1.95 Ma~2.10 Ma (倒 VI), 2.20 Ma~2.45 Ma (倒 VII)。

孙殿卿在 1989 年对庐山地区冰期作了划分<sup>[2]</sup>。这种划分可以通过古地磁年龄将黄土—古土壤组合与冰期气候进行对比, 认为庐山地区末次冰期相当黄土层  $L_1$  (GL-1), 即末次冰期气候; 庐山冰期相当黄土地层  $L_2 \sim L_4$  (GL-2 与 GL-3), 即倒 I、倒 II 次冰期气候; 大姑冰期的 I, II 期相当于黄土地层  $L_9, L_{15}$  (GL-4, GL-5), 即倒 IV、倒 V 冰期气候。黄土地层  $L_{25} \sim L_{29}$  (GL-6) 即倒 VI 冰期气候或许相当于金锭—大姑间冰期中的一次寒冷事件。金锭冰期相当于黄土层  $L_{34} \sim L_{36}$ ;  $L_{41} \sim L_{44}$  (GL-7, GL-8), 即倒 VII、倒 VIII 冰期气候。

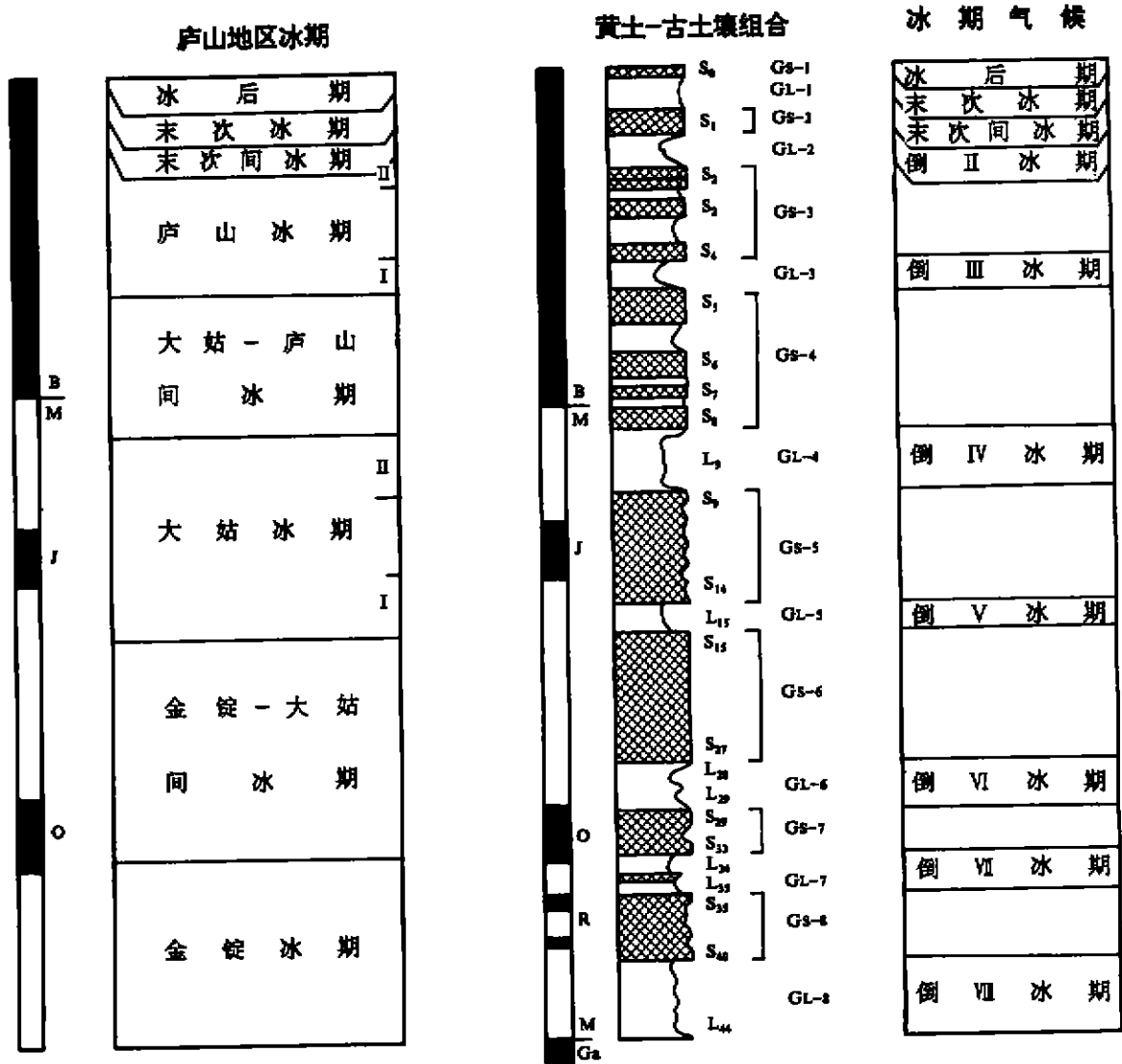


图 2 黄土组合—古土壤组合与冰期气候对比

Fig. 2 Comparison between L-sequence and Glacial Climate

黄土地层反映出的冰期气候可以与庐山地区冰期对比, 表明黄土—古土壤序列不仅受冬、夏季风控制, 而且受全球气候变化的影响。

## 4 结 语

全球气候变化与古季风变化对中国黄土形成所起的作用表现在以下几个方面。

(1)全球气候变化与青藏高原抬升的综合影响,造成了青藏地区冰川的发育和西北沙漠的形成,并构成中国黄土物源区。冬季风的东南向移动将黄土物质携带到黄土高原以至华北平原沉降。

(2)全球气候变化造成了中国黄土区的冰期气候与间冰期气候,但这里所说的冰期气候并非冰川作用。它的意义在于全球气候变冷,极地冰盖大范围扩张,大陆高纬度地区或山地出现冰川所形成的气候条件。

在冰期气候条件下,冬季风加强,黄土堆积速率和厚度加大,这可以从  $L_9, L_{15}, L_1, L_2, L_3$  的沉积速率较大,厚度也较大得到证实。在冰期气候条件下,虽然气候干冷,但东亚季风格局并未破坏,冬、夏古季风交替占优势的情况仍然存在,在夏季风略占优势的时期仍有古土壤发育,但土壤发育程度可能略弱一些。例如第一粉砂层( $L_1$ )中的两层粘化层。如果冰期内较温和时期与夏季风占优势的时期重合,则有可能在冰期气候条件下形成发育较好的古土壤层。它反映在冰期气候条件下虽然古冬季风强烈,但古夏季风依然可以出现,但在全球冰期寒冷气候条件影响下,古夏季风表现不强劲。在冰期气候条件下形成黄土组合,在黄土组合内以典型黄土堆为特征,同时发育程度不同的古土壤层。

在间冰期气候条件下情况相反,黄土堆积速率减小,厚度也减小,成壤作用加强;表现古土壤化程度高,厚度大,古土壤层密集。例如在间冰期气候条件下发育的  $S_3$  表现为多层古土壤的复和,  $S_{15} \sim S_{24}$  表现为多层古土壤密集。在间冰期气候条件下形成的多层古土壤密集,作者称为古土壤组合。间冰期虽然气候比较温和湿润,但东亚季风格局仍未起大的变化,冬、夏季风交替占优势的情况仍然存在,在冬季风略占优势的时期仍有黄土层发育,但是黄土层可能轻微发生土壤化作用,且黄土层较薄。例如  $S_5, L_1, S_5, L_2$  或古土壤组合 N (GS-6) 中的黄土层  $L_{16}, S_{17}, S_{18}, S_{19}, L_{20}, L_{21}, L_{22}, L_{23}, L_{24}$ , 反映间冰期气候条件下虽然古夏季风盛行,但古冬季风依然可以出现。它在全球间冰期温湿气候影响下,表现得不十分强烈,在间冰期气候条件下形成古土壤组合,在古土壤组合内以典型的古土壤发育为特征,同时也堆积较薄层的黄土层。

综上所述,全球气候变化造成了中国黄土区的 8 个冰期气候与间冰期气候旋回、8 个黄土组合与古土壤组合旋回。因此作者认为,黄土气候记录具有全球普遍意义,中国黄土—古土壤序列是全球气候变化与东亚古季风气候旋回的综合作用结果。

## 参 考 文 献

- 1 安芷生. 季风与最近 13 万年黄土高原的气候历史. 黄土、第四纪地质、全球变化(第二集). 北京: 科学出版社, 1989
- 2 孙殿卿. 中国第四纪亚冰期划分之商讨. 第四纪研究, 1989(1): 3~23
- 3 孙殿卿, 吴锡浩. 中国第四纪构造—气候旋回的初步研究. 第四纪研究, 1986(2): 1~9
- 4 郭正堂, 刘东生, 吴乃琴. 最后两个冰期黄土中记录的 Heinrich 型气候节拍. 第四纪研究, 1996(1): 21~30
- 5 刘东生. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985
- 6 张宗祜, 张之一, 王芸生. 中国黄土. 北京: 科学出版社, 1991
- 7 孙建中, 赵景波. 黄土高原第四纪. 北京: 科学出版社, 1991
- 8 刘东生, 安芷生, 陈明扬. 最近 0.6 Ma 南、北半球古气候对比初探. 中国科学, 1996, 26(2): 97~102
- 9 刘秀铭. 黄土频率磁化率与古气候冷暖变化. 第四纪研究, 1990(1): 42~50
- 10 岳乐平, 雷祥义. 最近 13 万年黄土磁化率及古气候意义. 地球物理学会年报, 1994: 356~357
- 11 Shackleton N J, Opdyke N D. Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of Pacific core V<sub>28-239</sub>. Geological Society of American Inemior, 1977(145): 449~464
- 12 岳乐平. 蓝田段家坡黄土剖面磁性地层学研究. 地质论评, 1989(2): 188~192
- 13 岳乐平. 陕西张汭塬黄土剖面的古地磁研究. 西北大学学报(自然科学版), 1984(4): 79~85
- 14 岳乐平, 雷祥义, 屈红军. 靖远黄土剖面的磁性地层学初步研究. 第四纪研究, 1991(4): 349~353
- 15 丁仲礼, 刘东生. 中国黄土研究新进展(一)黄土地层. 第四纪研究, 1989(1): 24~35

责任编辑 张银玲

# A Comparative Study between the East-Asia Paleomonsoon Climate and Glacial Climate in Chinese Loess Area

Yue Leping

(Department of Geology, Northwest University, 710069, Xi'an)

**Abstract** The records of Paleomonsoon and glacial climate in Chinese Loess Areas have been studied on the base of comparison between magnetic susceptibility curve and oceanic  $\delta^{18}\text{O}$  curve. It was explored the relationship between Loess-Paleosol sequence and glacial-interglacial climate, which led to such a conclusion that the Loess-Paleosol sequence was the outcome of changeable glacial-interglacial climate. Chinese Loess-Paleosol sediments were just controlled by both the factors of glacial-interglacial and paleomonsoon climate.

**Key words** glacial-interglacial climate; paleomonsoon in Chinese loess areas; Chinese Loess Area

• 学术动态 •

## 在陕出版的 63 种期刊被列为中国科技论文统计源期刊

中国科技信息研究所信息分析研究中心的《中国科技论文统计与分析》课题组在 1997 年 5 月公布了“国家科委中国科技论文统计源期刊(1997 年版)”,按 30 种学科分类公布了 1 230 种统计源期刊。在“简要说明”中阐述“随着科技期刊的发展,我们的选刊每年也会有少量调整,在增补新刊时,我们首先注意刊物的学术质量,也考虑编辑规范程度等因素,同时也适当顾及学科和地区覆盖面的平衡”。这次在陕西省出版的刊物共有 63 种,按学科分类见表 1,第二届全国优秀科技期刊获奖单位全部入选。与 1991 年版相比较,新选入的科技期刊有 7 种。

近年来,我省科技期刊在努力提高学术质量、提高编辑规范化水平与新学科的内容上都作了很大努力。今后仍须再接再厉,更上一层楼。

《西北大学学报》(自然科学版)自 80 年代以来,一直为统计源期刊。

表 1 1997 年中国科技论文统计源在陕西出版的科技期刊

学科分类	期 刊 名 称	学科分类	期 刊 名 称
综 合	西北大学学报 陕西师大学报		
数学、力学		冶金、金属学	铸造技术 热加工工艺 重型机械
信息和系统科学、物理、化学	应用力学学报 光子学报	机 械	工业仪表与自动化装置
天文、地学	* 陕西省天文台台刊 地质实验室 西安地质学院学报 西北地质科学	兵 器	兵工学报火化工分册 弹箭与制导学报 现代引信 火工品 火炸药
生物、农林牧渔	昆虫分类学报 西北植物学报 干旱地区农业研究 西北林学院学报 西北农业大学学报 陕西农业科学 水土保持通报 水土保持学报 中国水土保持 土壤侵蚀与水土保持	航空、航天	* 飞行力学 * 固体火箭技术
医 学	第四军医大学学报 神经解剖学杂志 西安医科大学学报 * 牙体、牙髓、牙周病杂志	动力工程	电力电容器 电力电子技术 高压 电器 工业加热 微电机 电瓷避 雷器
工业技术	西安交通大学学报 西北工业大学学报 西安理工大学学报 陕西工学院学报 西安工业学院学报	电子通讯 与自控计 算机技术	微电子学与计算机 西安电子科技大学学报
材料、矿业 能源	* 稀有金属材料与工程 测井技术 煤田地质与勘探 焊管 西安矿业学院学报 西安石油学院学报	化工、轻工 纺织、食品	化学工程 中国油脂 棉纺织技术 西北纺织科技大学学报 * 纺织高校基础科学学报 * 西北轻工业学院学报
		建筑、水利	西安建筑科技大学学报 西北建筑工程学院学报 筑路机械与施工机械化
		交通运输 环境科学 管理及其他	西安公路交通大学学报 灾害学

\* 与 1991 年相比较,新增加的期刊。

(薛 鲍)