# 古土壤干湿特征指示晚古生代气候演化

吕大炜<sup>1)</sup>,张奥聪<sup>1)</sup>,张之辉<sup>1)</sup>,高远<sup>2)</sup>,王东东<sup>1)</sup>, 刘海燕<sup>1)</sup>,徐锦程<sup>1)</sup>,王洛静<sup>1)</sup>,田兴<sup>3)</sup>

1)山东科技大学,山东青岛,266590;2)中国地质大学(北京),北京,100083;

3) 西南大学, 重庆, 400715

内容提要:古土壤是地质历史时期气候变化的重要记录者,通过古土壤记录的信息,可以定性和定量重建深时 古环境和古气候,为认识地质历史时期的各种地质事件提供依据。前人大多对特定区域展开古土壤研究,对全球性 古土壤数据的整理和古气候、古环境研究相对较少。基于古土壤的干湿情况对古气候环境的指示作用,我们按照植 物根迹、根系结构与根化石、黏土矿物以及古土壤的结构构造等依据,将前人报道的古生代(410~255 Ma)古土壤分 为干旱古土壤和湿润古土壤两种类型。将古土壤干湿特征与其他气候敏感性沉积物进行对照,显示为干旱古土壤 分布与钙质结核以及蒸发岩等指示干旱气候带的敏感性沉积物分布一致,湿润古土壤分布与高岭石、煤以及铝土矿 等指示湿润气候带的敏感性沉积物分布一致。干旱古土壤大都分布在晚古生代中低纬度干旱地区;湿润古土壤大 都分布在晚古生代赤道附近及中纬度湿润地区。通过以上分析认为,古土壤干湿特征可以作为一个新的气候敏感 指标指示古气候环境,进而作为划分气候带的有力依据。

关键词:古土壤;古气候分带;晚古生代;气候敏感性沉积物;古气候重建

古土壤(paleosoil)是指形成于古代地层以及地 形地貌之中的土壤(Tabor et al., 2015),是地质历 史时期气候变化的灵敏指针,具有丰富的气候指示 意义(Kraus, 1999; Driese et al., 2005; Kahmann et al., 2008; Tabor et al., 2015; 陈留勤等, 2018)。 从太古代到新生代,古土壤广泛存在于不同深度的 地层之中(Wright, 1994; 杨利军等, 2002)。古土 壤作为沉积地层的一部分,在形成过程中长期与当 时大气相接触,长期受到大气圈、水圈、生物圈和岩 石圈的不同作用(Kraus, 1999; Sheldon et al., 2009; Tabor et al., 2015),是集构造地形、沉积物组 成、母岩、空间与时间、土壤生物以及相对物源区的 位置和气候的综合产物(Wright, 1994; Retallack, 2008; Sheldon et al., 2009; Tabor et al., 2015). 因此古土壤可能记录有关地球表面过去的物理、生 物和化学信息:通过古土壤记录的信息,我们可以重 建丰富的古环境、古水文、古植被以及古气候 (Sheldon et al., 2009; Tabor et al., 2015)

国际上,已有很多学者用古土壤定性定量重建 了深时古环境和古气候,涉及到了从太古代到新生 代多个地质历史时期(刘东生,2002; Kraus et al., 2006; Sheldon et al., 2009; Kuleshov et al., 2019; 宋宏,2020)。晚古生代时期,一系列的地质事件频 繁发生,如冰川的发生与消融等演化(Fielding et al.,2008; Chen Jitao et al.,2018)、气候变暖变冷 事件(Fielding et al.,2008; Blanchard et al.,2015; Chen Jitao et al.,2018)以及生物灭绝事件(F-F事 件)(Liao Weihua,2002; Wang Yue et al.,2006) 等,这些地质现象都在古土壤沉积特征上有所表现 (Tabor et al.,2015)。研究古土壤中所反映的地质 信息对重建晚古生代古环境与古气候具有重要意 义,同时也有助于发展和优化基于古土壤的古气候 替代性指标。

气候敏感性沉积物是划分古气候分带的重要依据,同时也是确定相关古气候的重要参照物(张铭杰等,2007; Boucot et al., 2013)。根据气候敏感沉积物的分布规律及古气候信息可以恢复和确定全球的古环境和古气候信息。20世纪以来,许多学者开始对气候敏感性沉积物类型和特征开展研究,认为 气候敏感性沉积物主要包括高岭石、煤、蒸发岩等多



注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号:41972170)和"深时数字地球"国际大科学计划(DDE, Deep-time Digital Earth)的成果。 收稿日期:2022-06-22;改回日期:2022-08-06;网络首发:2022-08-20;责任编辑:刘志强。Doi: 10.16509/j.georeview.2022.08.141 作者简介:吕大炜,男,1980年生。教授,主要从事沉积学、能源地质学等方面的研究与教学工作;Email:lvdawei95@163.com。

种具有典型指示的沉积物(陈旭等, 1997; Boucot et al., 2013)。例如,高岭石、煤和铝铁矿等是潮湿气 候带的主要敏感性沉积物,多用来指示较为潮湿的 古气候环境:而钙质结核、蒸发岩等是干旱气候带的 主要敏感性沉积物,多用来指示较为干旱的古气候 环境。气候敏感沉积物的分布模式和分布规律可以 重建恢复地质历史时期的气候带(Kämpf et al., 1983; 蓝先洪, 1990; 鲁春霞, 1997; 蔚远江等, 2002; 张铭杰等, 2007; Boucot et al., 2013; 宋宏, 2020)。这些成果对于全球古气候重建起到积极性 的推动作用,也对人类认识深时古气候发展演化提 供了坚实的依据。用于重建古气候的敏感性沉积物 如煤、钙质结核、高岭石等在指示古气候上确实有优 势,但是很多情况下都与古土壤密切相关,比如钙质 结核往往出现在干旱的古土壤之中,煤则与湿润古 土壤共生。同时钙质结核理论上就属于干旱古土壤 的一部分,但并不是所有的干旱古土壤中都存在钙 质结核,干旱古土壤中也会存在其他指示物(Tabor et al., 2015; 毛学刚等, 2016; 陈留勤等, 2018); 对使用钙质结核作为一种气候敏感性沉积物来研究 古气候带的理论已经基本成立(Tabor et al., 2015),但是钙质结核并不能代表所有的干旱古土 壤来研究古气候带。本文系统整合干湿指标分类之 后的古土壤,着重于研究古土壤是否能够作为气候 敏感性沉积物来进行古气候的研究。

晚古生代时期气候分带明显,气候变化显著,可 作为进一步加强古气候带划分的依据,推动古土壤 领域的研究进展。本研究收集泥盆纪、石炭纪和二 叠纪的古土壤数据,通过古土壤数据点与已有气候 敏感性沉积物的对比,讨论干湿古土壤是否可以作 为气候敏感性沉积物指示古气候,检验古生代古气 候带的划分。

## 1 研究方法

前人对于古土壤的研究大多都探讨区域性古环 境和古气候特征(Driese et al., 2005; Alekseeva et al., 2016a),而对于全球性古土壤资料的整理和研 究较少。笔者等通过整理与收集晚古生代古土壤资 料建立数据库。数据库包括晚古生代不同时期古土 壤的地质年代、古今地理位置、干湿情况等空间古土 壤数据(见附表1),古土壤数据信息总计 282条;其 中泥盆纪古土壤数据 57条,石炭纪古土壤数据 140 条,二叠纪古土壤数据 85条,多数的古土壤数据出 现在石炭纪和二叠纪时期。



图 1 晚古生代不同阶的古土壤数据南北半球分布图 Fig. 1 Distribution of paleosoil data of different stages in the Late Paleozoic

本研究建立的数据库中,古土壤数据点在古地 理地图上显示南半球分布较多,北半球分布较少 (图1、图2)。这一点同泥盆纪、石炭纪、二叠纪的 南北大陆面积相对应;在泥盆纪、石炭纪和二叠纪这 三个时期,南半球的大陆面积要明显的多于北半球 的大陆面积,大陆面积的差异是导致古土壤数据点 南北半球分布差异的主要原因。泥盆纪和石炭纪时 期在南半球的古土壤数据点明显多于北半球,而在 二叠纪时期,南北半球的古土壤数据点比较均匀,数 据点数量基本持平。

### 2 干旱和湿润古土壤的特征

古土壤按照干湿情况可以分为干旱古土壤和湿 润古土壤两种,干旱古土壤常发育于干旱的气候环 境中,有机质含量较少,颜色常呈浅红褐色且包含泥 裂、钙质层和石膏层等典型特征(陈留勤等,2018; 毛学刚等,2019)。例如,宋宏等在分析晚泥盆纪古 土壤特征时,发现较为干旱的旱成土层具有颜色呈 浅红褐色且包含泥裂、钙质层等特征(宋宏等, 2019);毛学刚等在分析白垩纪时期红色古土壤特 征时,发现较为干旱的古土壤表面常出现泥裂与钙 质层等特征(毛学刚等,2016)。湿润古土壤常发育 于较为湿润气候环境中,有机质含量相对较高,根迹



P:布拉格阶;Ems:埃姆斯阶;Eif—Giv:艾菲尔阶—吉维特阶; Fra—Fam:弗拉斯阶—法门阶;Tou—Vis:杜内阶—维宪阶;Serp: 谢尔普霍夫阶;Bas—Mo:巴什基尔阶—莫斯科阶;Ka—Gz:卡西 莫夫阶—格舍尔阶;A—S:阿瑟尔阶—萨克马林阶;Art—Wu:阿 尔丁斯克阶—吴家坪阶

P: Pragian; Ems: Emsian; Eif—Giv: Eifelian—Givetian; Fra— Fam: Frasnian—Famennian; Tou—Vis: Tournaisian—Visean; Serp: Serpukhovian; Bas—Mo: Bashkirian —Moscovian; Ka—Gz: Kasimovian—Gzhelian; A—S: Asselian—Sakmarian; Art—Wu: Artinskian—Wuchiapingian

由于土壤水分含量高而在土壤中的延伸长度较短, 根石类型常以金属氧化物形式存在,土壤颜色由于 排水不良常呈深灰色且含有较多的氧化矿物且成土 作用较为明显(Kraus et al., 2006; 宋宏, 2020)。 例如,Kraus 在分析不同古土壤的排水特征时,发现 较为湿润的古土壤由于其排水不良或排水较差等土 壤特征,古土壤呈深灰色且有机质含量较高,存在于 其中的植物根迹较为短小(Kraus et al., 2006); Tabor 在阐述降雨量较大或季节性降水较强的古土 壞时,发现根迹发育较短小且根石常呈铁锰氧化物 或黄钾铁矾形式出现(Tabor et al., 2015)。干旱古 土壤和湿润古土壤在根系结构与根化石、植物根特 征、所含矿物以及特有的沉积结构和构造都有比较 明显的区别(表1)。本次研究的工作方法就是,通 过这些特征对数据库中收集的古土壤进行相应的干 湿划分,并进一步分析干旱古土壤和湿润古土壤蕴 藏的古气候意义。

#### 2.1 植物根迹

埋藏在古土壤之中的植物根迹可以用来区分干 旱古土壤和湿润古土壤(Kraus et al., 2006: Tabor et al., 2015; 毛学刚等, 2016)。古土壤在漫长的 地质历史时期内,有各种各样的植物的根存在于古 土壤中。从古土壤的含水量多少来看,古土壤的含 水量的多少往往会影响植物根系的发展程度,在气 候干旱地区形成的古土壤含水量较少,其中生长的 根迹会因为土壤缺水而延伸较深,以便吸取更多水 分. 目根迹发育比较细小. 防止根迹中水分的流失: 而在气候湿润地区形成的古土壤,由于其土壤中水 分含量较多,根系生长所需要的水分供给充足,植物 根迹往往向下延伸较短(Kraus, 1999; Kraus et al., 2006; Tabor et al., 2015)。从植物根迹的颜色来 看,干旱气候条件下古土壤中的根迹颜色因为氧化 作用较强而主要呈现红色;在湿润的气候条件下,水 分的聚集使得土壤发生潜育化或者有机质发生分 解,从而形成还原环境,导致根迹出现褐色或青灰色 (Kraus et al., 2006; Tabor et al., 2015; 毛学刚等, 2019)

#### 2.2 根系结构与根化石

Kraus 发现古土壤记录了不同排水情况的古土 壤对古环境和古气候的影响(Kraus et al., 2006)。 干旱的古土壤其排水相对较好,古土壤因为水分的 流失会呈现出红色或者浅红色。在相对排水良好的

表1干湿古土壤的区分特征

Table 1 Distinguishing	g characteristics	of arid	and	humid	paleosoil
------------------------	-------------------	---------	-----	-------	-----------

区分特征	干旱古土壤特征	湿润古土壤特征	文献来源
枯枷扣迹	①根迹延伸较长、根迹较细小;	①根迹延伸较短、根迹较粗大;	Kraus et al., 2006;
但初限迎	②根迹多呈红褐色	②根迹多呈褐色或青灰色	毛学刚等, 2019
根系结构	①细长的灰色斑点,边缘为红色或紫色,以及	①根系结构呈管状小黑球(碳质链体化石);	Kraus et al. , 2006; Tabor
与根化石	钙质堆积物;②保存为黄棕色卷须的根瘤体	②呈铁锰氧化物和黄钾铁矾保存的根石	et al., 2015; 宋宏, 2020
秋土矿物	①高岭石含量较低(3%~8%);②伊利石含量	①高岭石含量较高;②伊利石含量	蓝先洪, 1990;洪汉烈, 2010;
和上刊初	大于 35%;③伊利石结晶度小于 0.42°Δ2θ	小于 35%;③伊利石结晶度大于 0.42°Δ2θ	Kuznetsova et al., 2010;宋宏, 2020
结构和 构造	①泥裂;②肺鱼洞穴遗迹;Lungfish cave relic;③钙质层、钙质结核	①雨痕;②伪背斜构造(干湿交替) (剖面滑擦面 Slickensides:季节性降水)	Janssens, 1964;Tabor et al., 2015; 毛学刚等, 2019;宋宏, 2020; Zhang Ling et al., 2020



图 3 不同古土壤中的根系结构与根化石(Kraus et al., 2006)

Fig. 3 Root structure and root fossils in different paleosoils (Kraus et al., 2006)

(a) 干旱古土壤中的带有红色边缘的细长灰色斑点(根晕)组成的根瘤体;(b) 干旱古土壤中出现带有紫色边缘的灰色根晕;(c) 湿润古 土壤中的保存在根岩体内的碳质链体化石;(d) 湿润古土壤中边缘呈黄棕色以铁锰氧化物和黄钾铁矾保存的根石

(a) Root tumor consisting of slender gray spots (root halos) with red margins in an arid paleosoil; (b) Gray root halo with a purple margin in an arid paleosoil; (c) Fossil of a carbonaceous chain preserved in a root rock in a humid paleosoil; (d) The edge of the humid paleosol is yello-brown root stone preserved with ferromanganese oxide and jarosite

古土壤中,根系结构与根化石会出现两种形态:①以 带有红色边缘的细长灰色斑点(根晕)组成的根瘤 体形式出现(图 3a),②在红色排水良好的古土壤中 出现带有紫色边缘的灰色根晕(图 3b)(Kraus et al.,2006)。湿润的古土壤其排水相对较差,水分 会在古土壤中堆积和残留,在湿润的土壤条件下,古 土壤会因为发生化学还原作用和潜育作用而呈现深 灰色或紫色(Kraus et al.,2006; Kuleshov et al., 2019)。在排水相对较差的古土壤中,根系结构与 根化石会出现两种形态:①保存在根岩体内的碳质 链体化石很常见(图 3c),而含有氧化铁下涂层的灰 色根晕则很稀少;②边缘呈黄棕色的用铁锰氧化物 和黄钾铁矾保存的根石(图 3d)(Kraus et al., 2006; Wynn, 2007;乔彦松等, 2010;毛学刚等, 2019)。

#### 2.3 黏土矿物

古土壤在漫长的地质历史发展过程中,各类矿 物广泛存在于古土壤中,土壤是母岩、气候、生物、地 形和时间等成土因素共同作用下的产物(Khaziev et al., 2016; Charbonnier et al., 2020),古土壤形成于 特定的地质背景条件下,尤其是发育于火山物质母 岩之上的风化自生黏土矿物,可以准确地指示该区 的古气候条件,沉积物中的黏土矿物可以更有效地 运用于古气候环境的分析(陈涛等,2003;洪汉烈, 2010; Khaziev et al., 2016; Alekseeva et al., 2018),从而在相应的古气候环境中形成稳定的矿 物类型。随着全球气候变化研究的发展,矿物种类 对气候变化的指示作用越来越被重视:其中黏土矿 物对气候具有较好的指示意义。气候温湿有利于 伊/蒙混层矿物和高岭石等黏土矿物的形成,湿热的 气候环境与高岭石的存在相关(Kämpf et al., 1983; Robinson et al., 1987; 殷科等, 2010; Tabor et al., 2015; 张青青, 2018; 叶喜艳等, 2018)。高岭石常 发育于中低纬度的热带气候条件下,在湿热的气候 条件下,高岭石会聚集出现,对比旱成土中的高岭石 含量常在3%~8%,在较为湿热的土壤层中高岭石 的含量会大于这个范围(陈留勤等, 2018; 宋宏, 2020)。热带的化学风化与淋滤作用强烈,会形成 大量的高岭石、蒙脱石:蒙脱石在湿热的气候条件下 进一步风化淋滤可以形成高岭石,所以在湿热的气 候条件下,土壤层中的高岭石含量较高。伊利石常 发育于气候干冷的气候地区的土壤中,土壤中的伊 利石的含量超过35%,可表示气候处于干冷的条件 下,化学风化较弱;同时伊利石的结晶度(IC值)在 干冷的气候条件下较低,在湿热的气候条件下较高; 伊利石结晶度以 0.42° $\Delta 2\theta$  为界限,伊利石结晶度 低于 0.42°Δ2θ 并逐渐减小表示气候变得干旱;伊 利石结晶度高于 0.42°Δ2θ 并逐渐增大表示气候变 得湿润(陈涛等, 2003; Liberato et al., 2017; 宋宏,  $2020)_{\circ}$ 

#### 2.4 古土壤结构和构造

古土壤剖面中的一些结构和构造在一定范围内 也可以用于指示气候(Tabor et al., 2015; 宋宏, 2020),大部分的古土壤结构和构造都是可以用肉 眼在剖面中观察到的,如植物痕迹一样存在于古土 壤中。在干旱的古土壤中,在剖面中可以观察到钙 质结核(Tabor et al., 2015; 毛学刚等, 2019)、泥裂 (毛学刚等, 2016)以及肺鱼洞穴遗迹(Janssens, 1964; 宋宏, 2020)等古土壤结构和构造。钙质结 核主要是由碳酸钙组成的结核状自生沉积物,又名 碳酸盐结核或石灰结核。钙质结核层的形成与气候 因素有关,一般在半干旱地区的平原或低地由蒸发



图 4 干旱气候条件下土壤层出现的泥裂 (据宋宏, 2020) Fig. 4 Mud cracks in soil layer under arid climate conditions (from Song Hong, 2020&)

或淋滤作用形成,也有机械沉积的原生构造,其形成 机制受水动力的控制。一般是在降雨量有限的地区 形成,是一种重要的气候标志。泥裂是气候变得干 旱后,古土壤中的水分随之流失,在古土壤表面因为 缺水而开裂形成的不规则裂缝(毛学刚等,2016; 宋宏, 2020)(图4)。肺鱼洞穴遗迹野外形态呈倾 斜或垂直状,无规则的分布在古土壤中,这些洞穴直 径约10 cm,长度约为25 cm。当气候变干旱后,水 分随气候变干旱而急剧变少,肺鱼大都聚集在湿润 的湖底泥土中,当气候重新变湿润才会从湖底出现, 因此存在肺鱼洞穴遗迹,是气候干旱的标志 (Janssens, 1964; 宋宏, 2020)。在湿润的古土壤或 干湿交替的古土壤中,雨痕、伪背斜构造和剖面滑擦 面等结构和构造比较常见(Zhang Ling et al., 2020)。湿润的气候条件下,大气降雨量增多,雨水 经过渗透进入古土壤剖面中,留下水流经过的痕迹 称为雨痕:伪背斜构造和剖面滑擦面等是古土壤剖 面先是经历了干旱的气候条件,然后在湿润条件下 即在干、湿交接的成壤条件下膨胀收缩而形成的特 定的土壤构造,一般用来指示较为湿润的古土壤 (Tabor et al., 2015; Zhang Ling et al., 2020)

# 3 晚古生代古土壤与气候关系

将收集到的晚古生代古土壤数据进行古地理坐标的转化,结合不同类型古土壤特征识别出干旱古土壤和湿润古土壤,进而结合时间阶段的分类,确定晚古生代古土壤在地质历史时期的具体年代,将干



图 5 泥盆纪气候分带图(底图据 Boucot et al., 2013) Fig. 5 Climate zonation in Devonian period(Base map from Boucot et al., 2013)

湿古土壤的古地理坐标根据不同时期分别投点在有 古气候带分带的古地理地图上。与已知的气候敏感 岩性和前人研究划分好的古气候带进行分区对比, 最后验证本文的假设,即干湿古土壤特征和分布能 够指示古气候。

### 3.1 泥盆纪

### 3.1.1 早泥盆世(布拉格阶—埃姆斯阶)

早泥盆世时期,全球大陆中部和北部的干旱气 候带分布广泛,寒温带横向贯穿冈瓦纳大陆中部 (Boucot et al., 2013)。干旱带和热带以钙质结核 和高岭石分隔开来;干旱带与大陆南部寒温带以钙 质结核和煤与少部分高岭石分隔开来。代表干旱气 候带的敏感性沉积物蒸发岩类在干旱气候带内存在 较多。本研究中的干旱古土壤主要分布于南纬 27° 左右的干旱气候带地区(图 5a),由于早泥盆世时期 的数据点较少,泥盆纪早期本研究的古土壤数据点 信息不全面,并不能较好的反映气候环境,只能指示 部分地区的气候环境。

#### 3.1.2 中泥盆世(艾菲尔阶—吉维特阶)

中泥盆世时期,劳亚大陆向东位移,冈瓦纳大陆 明显向北部延伸同时大陆面积开始增大,全球气候 梯度明显下降(Boucot et al., 2013)。劳亚大陆与 冈瓦纳大陆中部和北部的蒸发岩和钙质结核指示了 干旱气候带,相较于早泥盆世,中泥盆世干旱气候带 面积有所减少,干旱带气候带比较平直,干旱古土壤 的数据点分布与蒸发岩的分布规律基本一致。在劳 亚大陆北部,加拿大北极区的煤、靠近干旱带与热带 分界线地区的高岭石指示了热带的位置(Boucot et al., 2013; Michel et al., 2015; Charbonnier et al., 2020)。与泥盆纪早期相比,较为明显的是南半球 的寒带和寒温带全部被暖温带所取代,南部的暖温 带气候带中分布着部分高岭石,指示了暖温带气候 带的分布位置,同时湿润古土壤在南半球的暖温带 中与高岭石分布规律基本一致(图 5b)。

### 3.1.3 晚泥盆世(弗拉斯阶—法门阶)

晚泥盆世时期,劳亚大陆中部地区和北部地区 的干旱气候带分布面积较广。在劳亚大陆中部的干 旱气候带中,大量的钙质结核聚集分布(蔚远江等, 2002;张铭杰等,2007;Boucot et al.,2013),干旱 古土壤的分布位置与钙质结核聚集的位置明显一 致;在劳亚大陆北部干旱气候带中,大量的蒸发岩聚 集分布,干旱古土壤的分布位置与蒸发岩聚集的位 置近乎一致。晚泥盆世时期的热带气候带用乌拉尔 地区出现的铝土矿指示,代表季节性湿润的古气候





环境(Boucot et al., 2013; Tabor et al., 2015)。南 半球的暖温带可以由巴西出现的高岭石来限定 (Brezinski et al., 2008; Boucot et al., 2013),暖温 带中的湿润古土壤数据点出现在气候带的冈瓦纳大 陆中部以及南部与寒温带的分界线地区,这些湿润 古土壤的分布位置与分布规律和高岭石等代表湿润 的气候敏感沉积物基本一致(图 5c)。

#### 3.2 石炭纪

### 3.2.1 早石炭世(杜内阶—维宪阶、

### 谢尔普霍夫阶)

在早石炭世的维宪阶,大部分的干旱气候带已 经逐渐被热带和暖温带所取代,北半球基本被热带 和暖温带覆盖。干旱气候带主要分布在南半球,南 半球的干旱气候带中蒸发岩分布广泛,基本横贯整 个干旱气候带。热带和暖温带范围较泥盆纪时期逐 渐变大(Boucot et al., 2013; Alekseeva et al., 2016),煤和铝土矿广泛分布于盘古大陆东部和北 部的热带气候带内。这个时期的热带湿润气候主要 是用分布在中低纬度高岭石、煤和铝土矿界定的 (Boucot et al., 2013)。经过对这一时期的不同古 土壤的数据投点分析的结果来看,这一时期的干旱 古土壤的分布规律与蒸发岩等干旱的气候敏感沉积 物一致;这一时期的湿润古土壤的分布规律与高岭 石、铝土矿等湿润的气候敏感沉积物一致(图 6a)。

在早石炭纪末期,也就是谢尔普霍夫阶时期,南 半球的干旱古气候带开始逐渐减小,被暖温带和寒 温带所取代,南半球干旱带的蒸发岩主要分布在盘 古大陆中部的热带与干旱带交接的地区,同时这一 时期干旱古土壤的分布规律与盘古大陆中部干旱气 候带中蒸发岩的分布规律一致。谢尔普霍夫阶时期 北半球干旱带扩张,蒸发岩集中,北半球的干旱古土 壤数据点较少,但是全部分布于北半球干旱带的中 心位置。在谢尔普霍夫阶时期,从盘古大陆西部到 东北部的高岭石界定了热带的界线,盘古大陆北部 的煤限定了暖温带的界线(陈旭等,1997; Boucot et al., 2013),湿润古土壤的分布规律与中低纬度热带高岭石和中高纬度煤的分布规律一致(图 6b)。

### 3.2.2 晚石炭世(巴什基尔阶—莫斯科阶、卡西 莫夫阶—格舍尔阶)

在晚石炭世的巴什基尔阶---莫斯科阶,干旱气 候带主要分布于盘古大陆中部的中低纬度地区,北 半球干旱气候带以钙质结核为主要指示物来与北部 的暖温带界定界线:南半球的干旱气候带主要以蒸 发岩为主要指示物来与南部的寒温带界定界线 (Bruch et al., 2002: Boucot et al., 2013: Foster et al., 2017)。干旱古土壤的分布规律与南半球干旱 气候带中蒸发岩的分布规律一致。(图 6c)。在巴 什基尔阶---莫斯科阶,盘古大陆西段热带范围较为 窄小,向东热带范围逐渐变宽,主要原因是自西向东 潮湿空气逐渐增加。在盘古大陆中部的热带气候带 中,低纬度赤道附近广泛分布着大量的煤和高岭石 用来指示这一时期的湿润的热带古气候带(Mack et al., 1994; Boucot et al., 2013)。巴什基尔阶—莫 斯科阶的湿润古土壤大都分布在中低纬度热带湿润 气候带中,并且这一时期的湿润古土壤的分布规律 与高岭石、煤等湿润的气候敏感沉积物分布规律一 致。

在晚石炭世的卡西莫夫阶—格舍尔阶,与巴什 基尔阶—莫斯科阶记录的古土壤信息相同,这一时 期的干旱古土壤数据信息也相对较少,收集到的干 旱古土壤主要分布于北半球干旱气候带和热带湿润 气候带的分界位置(图 6d)。同时,南北半球的暖温 带面积都逐渐增大,气候较巴什基尔阶—莫斯科阶 时期有所变暖,随着热带气候带向东西两侧延伸较 远盘古大陆中部的煤和高岭石分布界定了热带湿润 的古气候环境(张铭杰等,2007; Boucot et al., 2013)。热带潮湿气候带于低纬度陆地范围内广泛 分布。在晚石炭世的卡西莫夫阶—格舍尔阶,干旱 古土壤的分布规律与钙质结核和蒸发岩等干旱的气 候敏感沉积物基本一致;湿润古土壤的分布规律与 高岭石和煤等湿润的气候敏感沉积物基本一致 (图 6d)。

#### 3.3 二叠纪

#### 3.3.1 早二叠世(阿瑟尔阶—萨克马林阶)

在早二叠世的阿瑟尔阶—萨克马林阶,二叠纪 早期南半球冰川广布,遍及南美洲南半部和非洲;南 部半球中高纬度寒温带以及寒带中广泛分布的冰碛 岩,与广泛分布的煤呈互相重叠分布,这是因为绝大 部分二叠纪早期的煤都在冰川活动范围内并产于冰 碛岩和其他冰川沉积层之上(Boucot et al., 2013)。 干旱气候带广布于盘古大陆中低纬度地区,南北半 球的干旱带均匀平衡分布在热带两侧。南北半球的 干旱气候带主要是由于其中分布的蒸发岩界定 (Boucot et al., 2013), 而部分地区共同分布着钙质 结核以及蒸发岩,代表这一地区更加干旱,干旱古土 壤的位置主要集中于北半球干旱带和热带分界的地 区,同时在干旱古土壤数据点分布的位置也同样存 在着大量的蒸发岩以及少数的钙质结核,这一时期 干旱古土壤的分布规律与蒸发岩和钙质结核等干旱 的气候敏感沉积物基本一致(图 7a)。早二叠世的 阿瑟尔阶--萨克马林阶,热带气候带集中分布在盘 古大陆中部以及古特提斯洋地区。大量的铝土矿在 华南、华北、朝鲜广布并与大量的煤相伴,指示了地 中海式的热带气候。北半球寒温带由分布在盘古大 陆北部的煤界定(赵锡文, 1992; Boucot et al., 2013)。这一时期的湿润古土壤数据并不多,湿润 古土壤的分布规律和分布范围与中低纬度煤的分布 规律和分布范围基本一致(图 7a)。从"晚石炭世" 开始到早二叠世,出现了煤和钙质壳的韵律层沉积, 对这种异常现象最简单的解释是该区处于半干旱气 候和潮湿气候的交替,可能也受到冰川活动的控制, 南半球大陆冰川活动的兴衰、盈亏导致潮湿气候带 在北半球中纬度带的往复变动(Bruch et al., 2002; Boucot et al., 2013; Michel et al., 2015; 宋宏等, 2019)

#### 3.3.2 中一晚二叠世(阿尔丁斯克阶—吴家坪阶)

在中一晚二叠世的阿尔丁斯克阶—吴家坪阶, 全球干旱带气候带分布范围广泛,较二叠纪早期相 比,南北半球的干旱带由于热带的向东推移而开始 联合成一个整体,干旱带主要分布在中、低纬度地 区,全球气温相对升高,南半球寒带消失,暖温带开 始出现,大陆整体呈现东湿西干的特征(Boucot et al., 2013; Michel et al., 2015)。在盘古大陆的东 部和西部与热带气候带分界的位置出现的大量蒸发 岩和钙质结核代表着干旱的古气候环境(图7b),同 时这一时期的干旱古土壤的分布规律与盘古大陆东 西部蒸发岩、钙质结核等干旱的气候敏感沉积物分 布规律一致。在中一晚二叠世的阿尔丁斯克阶—吴 家坪阶,盘古大陆中部以及古特提斯洋东部沿岸出 现大量的铝土矿和煤指示着热带潮湿气候带于此分 布。寒温带与干旱带界线在南半球以澳大利亚新南 威尔士和南非的煤与高岭石记录为界,在北半球以



图 7 二叠纪气候分带图(底图据 Boucot et al., 2013) Fig. 7 Climatic zonation in Permian period (Base map from Boucot et al., 2013)

西伯利亚的煤与高岭石记录为界(赵锡文, 1992; Boucot et al., 2013)。盘古大陆南部出现大量的煤 指示着较为湿润的暖温气候带,同时中—晚二叠世 的阿尔丁斯克阶—吴家坪阶时期的湿润古土壤的分 布规律与盘古大陆南部的煤等湿润的气候敏感沉积 物基本—致(图 7b)。

### 4 结论

古土壤作为古气候环境信息的重要记录者,广 泛存在于从太古代至第四纪的沉积序列中。在漫长 的地质历史时期,古土壤受大气圈、岩石圈、生物圈 和水圈等圈层的直接或间接作用,因此古土壤中存 在古代沉积环境和古气候变化信息,古土壤可以提 供丰富的定性和定量证据,对深时气候环境的变化 研究具有重要的作用。

根据古土壤的根系特征、沉积特征以及结构和 构造等对古土壤进行干湿划分,然后对应在不同时 期进行干旱古土壤和湿润古土壤的分别投点,与其 它气候敏感岩性与气候带作对比,发现晚古生代古 土壤分布范围与分布规律与煤、高岭石等已划定的 气候敏感性沉积物基本一致。在泥盆纪时期早期因 为数据点较少,不能显示较好的分布规律。而在泥 盆纪中晚期、石炭纪时期以及二叠纪时期干旱古土 壤数据点随干旱带的扩大而出现在干旱带边缘等钙 质结核和蒸发岩集中分布的地区,湿润古土壤数据 点随着热带和暖温带的扩大缩小而出现在热带中部 或边缘以及暖温带边缘等煤和高岭石集中分布的地 区。基于以上研究得出结论:古土壤干湿特征可以 作为一个新的气候指标来指示古气候环境,进而作 为划分气候带的有力依据。

### 参考文献 / References

(The literature whose publishing year followed by a "&" is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a "#" is in Chinese without English abstract)

- 陈留勤, 刘鑫, 李鹏程. 2018. 古土壤: 沉积环境和古气候变化的灵 敏指针. 沉积学报, 36(3): 510~520.
- 陈涛,王欢,张祖青,王河锦. 2003. 粘土矿物对古气候指示作用浅 析. 岩石矿物学杂志,22(4):416~420.
- 陈旭,布科,阮亦萍,斯科梯司,樊隽轩. 1997. 显生宙全球气候变 化与生物绝灭事件的联系. 地学前缘,4(3~4):123~127.
- 洪汉烈. 2010. 黏土矿物古气候意义研究的现状与展望. 地质科技 情报, 29(1): 1~8.
- 蓝先洪. 1990. 粘土矿物作为古气候指标矿物的探讨. 地质科技情报, 9(4): 31~35.
- 刘东生. 2002. 黄土与环境. 西安交通大学学报: 社会科学版, 22 (4):7~12.
- 鲁春霞. 1997. 粘土矿物在古环境研究中的指示作用. 中国沙漠, 17(4): 456~460.
- 毛学刚, 刘秀铭. 2016. 浅析中元古界和白垩系红层中泥裂的特征 和古环境意义. 亚热带资源与环境学报, 11(3): 20~28.
- 毛学刚, 刘秀铭, 师永辉, 陈金牛. 2019. 甘肃张掖早白垩世彩丘中 古土壤的判别, 类型和序列特征. 第四纪研究, 39(2):429~ 437.
- 乔彦松,赵志中,王燕,傅建利,王书兵,蒋复初.2010.川西甘孜 黄土—古土壤序列的地球化学演化特征及其古气候意义.科学 通报,55(3):255~260.
- 宋宏, 郭雪莲, 贺陆胜. 2019. 晚泥盆世古土壤元素地球化学特征 及其古气候意义. 地质科学, 54(4): 1252~1264.
- 宋宏. 2020. 甘肃白银晚泥盆世古土壤黏土矿物特征及古气候研究. 导师: 郭雪莲. 兰州:兰州大学硕士学位论文: 1~40.
- 蔚远江,杨晓萍,雷振宇,张洪,陆万雨. 2002. 羌塘盆地查郎拉地 区中新生代古气候演化初探.地球学报,23(1):55~62.
- 杨利军, 邵龙义, 张鹏飞. 2002. 古土壤的类型及识别标志. 中国煤 田地质, 14(3): 1~3.
- 叶喜艳,冯展涛,彭廷江,于凤霞,李孟,于昊. 2018. 兰州西津黄 土—古土壤序列中黏土矿物特征. 兰州大学学报(自然科学 版),1:1~4.
- 股科,洪汉烈,李荣彪,徐耀明,杜鹃,季军良,张克信. 2010. 循 化盆地晚渐新世—早中新世沉积物中黏土矿物特征及其古气候

指示意义. 地质科技情报, 29(3): 41~48.

- 张铭杰,张昱,李小虎,王记周,孟广路,史宝光. 2007. 干旱半干 旱地区土壤矿物组成特征及其环境意义. 兰州大学学报(自然 科学版),43(3):1~5.
- 张青青. 2018. 典型黄土—古土壤剖面有机碳和黏土矿物分布特征 及古环境意义.导师:赵世伟.北京:中国科学院大学(中国科 学院教育部水土保持与生态环境研究中心)硕士学位论文:1~ 40.

赵锡文. 1992. 古气候学概论. 北京: 地质出版社: 1~30.

- Alekseeva T V, Alekseev A O, Gubin S V. 2016a. Paleosol complex in the uppermost Mikhailovian Horizon (Viséan, Lower Carboniferous) in the southern flank of the Moscow Syneclise. Paleontological Journal, 50(4): 319~335.
- Alekseeva T V, Alekseev A O, Gubin S V, Kabanov P B, Alekseeva V A. 2016b. Palaeoenvironments of the Middle - Late Mississippian Moscow Basin (Russia) from multiproxy study of palaeosols and palaeokarsts. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 450: 1~16.
- Alekseeva T V, Alekseev A O, Kalinin P I. 2018. The Mississippian paleosols in the Brontsy quarry, Kaluga region. Eurasian Soil Science, 51(7): 744~757.
- Blanchard S, Fielding C R, Frank T D. 2015. Impact of continental motion and dynamic glaciations on low-latitude climate during the Carboniferous: The record of the Wyoming Shelf (Western United States). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 436: 214~230.
- Boucot A J, Chen Xu, Scotese C R, Morley R J. 2013. Phanerozoic paleoclimate: an atlas of lithologic indicators of climate. The Sedimentary Record, 12(4): 53~140.
- Brezinski D K, Cecil C B, Skema V W, Stamm R. 2008. Late Devonian glacial deposits from the eastern United States signal an end of the mid-Paleozoic warm period. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 268(3~4): 143~151.
- Bruch A A, Mosbrugger V. 2002. Palaeoclimate versus vegetation reconstruction – palynological investigations on the Oligocene sequence of the Sava Basin, Slovenia. Review of Palaeobotany and Palynology, 122(3~4): 117~141.
- Charbonnier G, Duchamp A S, Deconinck J F, Adatte T, Spangenberg J E, Colin C, Föllmi K B. 2020. A global palaeoclimatic reconstruction for the Valanginian based on clay mineralogical and geochemical data. Earth-Science Reviews, 202: 103092.
- Chen Liuqin, Liu Xin, Li Pengcheng. 2018&. Paleosols: Sensitive Indicators of Depositional Environments and Paleocli-mate. Journal of sedimentary, 36(3): 510~520.
- Chen Jitao, Montañez I P, Qi Yuping, Shen Shuzhong, Wang Xiangdong. 2018. Strontium and carbon isotopic evidence for decoupling of pCO2 from continental weathering at the apex of the late Paleozoic glaciation. Geology, 46(5): 395~398.
- Chen Tao, Wang Huan, Zhang Zuqing, Wang Hejin. 2003&. Clay minerals as indicators of paleoclimate. Acta Petrologica et Mineralogica, 22(4): 416~420.
- Chen Xu, Boucot A J, Ruan Yiping, Scotese C R, Fan Junxuan. 1997# . Correlation Between Geologically Marked Climatic Changes and Extinctions. Earth Science Frontiers (China University of Geosciences, Beijing), 4(3~4): 123~127.
- Driese S G, Ober E G. 2005. Paleopedologic and paleohydrologic records of precipitation seasonality from early Pennsylvanian " underclay" Paleosols, USA. Journal of Sedimentary Research, 75

(6): 997~1010.

- Fielding C R, Frank T D, Isbell J L. 2008. The late Paleozoic ice age– A review of current understanding and synthesis of global climate patterns. Resolving the late Paleozoic ice age in time and space, 441: 343~354.
- Foster G L, Royer D L, Lunt D J. 2017. Future climate forcing potentially without precedent in the last 420 million years. Nature communications, 8(1): 1~8.
- Hong Hanlie. 2010&. A Review on Paleoclimate Interpretation of Clay Minerals. Geological Science and Technology Information, 29(1): 1~8.
- Janssens P. 1964. The metabolism of the aestivating African lungfish. Comparative biochemistry and physiology, 11(1): 105~117.
- Kahmann J A, Driese S G. 2008. Paleopedology and geochemistry of Late Mississippian (Chesterian) Pennington Formation paleosols at Pound Gap, Kentucky, USA: Implications for high – frequency climate variations. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 259(4): 357~381.
- Kämpf N, Schwertmann U. 1983. Goethite and hematite in a climosequence in southern Brazil and their application in classification of kaolinitic soils. Geoderma, 29(1): 27~39.
- Kraus M J. 1999. Paleosols in clastic sedimentary rocks: their geologic applications. Earth–Science Reviews, 47(1~2): 41~70.
- Kraus M J, Hasiotis S T. 2006. Significance of different modes of rhizolith preservation to interpreting paleoenvironmental and paleohydrologic settings: examples from Paleogene paleosols, Bighorn Basin, Wyoming, USA. Journal of Sedimentary Research, 76(4): 633~646.
- Khaziev R, Krinari G, Nurgalieva N, Batalin G, Gareev B. 2016. The Permian Clayey Sediments Genesis by XRF Data on the Reference Section (Volga River, Russia). Indian Journal of Science and Technology, 9(48): 1~11.
- Kuleshov V N, Arefiev M P, Pokrovsky B G. 2019. Isotope characteristics (δ13C, δ18O) of continental carbonates from Permian Triassic rocks in the Northeastern Russian Plate: Paleoclimatic and biotic reasons and chemostratigraphy. Lithology and Mineral Resources, 54(6): 489~510.
- Kuznetsova A M, Khokhlova O S. 2010. Morphology of carbonate accumulations in soils of various types. Lithology and mineral resources, 45(1): 89~100.
- Lan Xianhong. 1990&. Discussion on clay minerals as paleoclimate index minerals. Geological scientific information, 9(4): 31~35.
- Liao Weihua. 2002. Biotic recovery from the Late Devonian FF mass extinction event in China. Science in China Series D: Earth Sciences, 45(4): 380~384.
- Liu Dongsheng. 2002&. Loess and environment. Journal of Xian Jiaotong University: Social Sciences edition, 22(4): 7~12.
- Liberato G P, Cornamusini G, Perotti M, Sandroni S, Talarico F M. 2017. Stratigraphy of a Permian – Triassic fluvial – dominated succession in Southern Victoria Land (Antarctica): preliminary data. Journal of Mediterranean Earth Sciences, 9: 167~171.
- Lu Chunxia. 1997&. Clay Minerals as indicators of Paleoenvironment. Journal of Desert Research, 17(4): 456~460.
- Mao Xuegang, Liu Xiuming. 2016&. Preliminary analysis on characterization of mud-cracks in meso-proterozoic red beds and Cretaceous Danxia red beds and their paleo – environmental implications. Journal of Subtropical Resources and Environment, 11 (3): 20~28.

- Mao Xuegang, Liu Xiuming, Shi Yonghui, Chen Jingniu. 2019&. Paleosol recognition, Pedotypes and paleosol development sequences in Zhangye colorful hills, Gansu Province. Quaternary Sciences, 39 (2): 429~437.
- Mack G H, James W. 1994. Paleoclimate and the global distribution of paleosols. The Journal of Geology, 102(3): 360~366.
- Michel L A, Tabor N J, Montañez I P, Schmitz M D, Davydov V I. 2015. Chronostratigraphy and paleoclimatology of the Lodève Basin, France: evidence for a pan-tropical aridification event across the Carboniferous - Permian boundary. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 430: 118~131.
- Qiao Yansong, Zhao Zhizhong, Wang Yan, Fu Jianli, Wang Shubing, Jiang Fuchu. 2010&. Variations of geochemical compositions and the paleoclimatic significance of loess – soil sequence fromGanzi County of western Sichuan Province, China. Chinese Science Bulletin, 55(3): 255~260.
- Retallack G J. 2008. Soils of the past: an introduction to paleopedology:  $11 \sim 55$ .
- Robinson D, Wright V. 1987. Ordered illite-smectite and kaolinitesmectite: pedogenic minerals in a lower Carboniferous paleosol sequence, South Wales? Clay Minerals, 22(1): 109~118.
- Sheldon N D, Tabor N J. 2009. Quantitative paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction using paleosols. Earth-science reviews, 95(1~2): 1~52.
- Song Hong, Guo Xuelian, He Lusheng. 2019&. Geochemical characteristics of paleosols from Late Devonian and its paleoclimatic significance. Chinese Journal of Geology, 54(4): 1252~1264.
- Song Hong. 2020&. The Clay Minerals Characyeristics of Late Devonian Palaeosol and Their Paleoclimate in Baiyin, Gansu Province. Supervisor: Professor Guo Xuelian. Lanzhou: Master thesis of Lanzhou university: 1~40.
- Tabor N J, Myers T S. 2015. Paleosols as indicators of paleoenvironment and paleoclimate. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 43: 333~361.
- Wang Yue, Wang Xunlian, Shi Xiaoying. 2006. Pioneer organisms after FF mass extinction in Dushan region, Guizhou Province, and their significance in establishing new ecosystem. Science in China Series D, 49(5): 449~460.

- Wei Jiangyuan, Yang Xiaoping, Lei Zhenyu, Zhang Hong, Lu Wanyu. 2002&. A Preliminary Study of the Mesozoic – Cenozoic Palaeoclimate Evolution in Chalangla Areas, Qiangtang Basin, Northern Tibet. Acta Geoscientia Sinica, 23(1): 55~62.
- Wright V P. 1994. Paleosols in shallow marine carbonate sequences. Earth-Science Reviews, 35(4): 367~395.
- Wynn J G. 2007. Carbon isotope fractionation during decomposition of organic matter in soils and paleosols: implications for paleoecological interpretations of paleosols. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 251(3~4): 437~448.
- Yang Lijun, Shao Longyi, Zhang Pengfei. 2002&. Palaeosols: Types and Recognition. Coal Geology of China, 14(3): 1~3.
- Ye Xiyan, Feng Zhantao, Peng Yanjiang, Yu Fengxia, Li Meng, Yu Hao. 2018&. Preliminary clay minerals on the loess – paleosol sequence in the Xijin core, Lanzhou. Journal of Lanzhou University Natural Sciences, 1: 1~4.
- Yin Ke, Hong Hanlie, Li Rongbiao, Xu Yaoyang, Du Juan, Ji Junliang, Zhang Kexin. 2010&. Clay Mineralogy and Its Palaeoclimatic Indicator of the Late Oligocene and Early Miocene in Xunhua Basin. Geological Science and Technology Information, 29(3): 41~48.
- Zhang Mingjie, Zhang Yu, Li Xiaohu, Wang Jizhou, Meng Guanglu, Shi Baoguang. 2007&. Mineral compositions of soil in the arid and semiarid region and their environmental significance. Journal of Lanzhou University(Natural Sciences), 43(3): 1~5.
- Zhang Ling, Bao Zhidong, Zhang Changming, Dou Luxing, Fu Ping, Zhao Jiahong, Wang Wuxue, Ji Yu. 2020. Paleosols in an outcrop of red beds from the Upper Cretaceous Yaojia Formation, southern Songliao Basin, Jilin Province, NE China. Journal of Palaeogeography, 9(1): 1~10.
- Zhang Qingqing. 2018&. The distribution of organic carbon and clay minerals in a typical loess-paleosol profile and their paleoclimatic significance. Supervisor: Professor Zhao Shiwei. Beijing: Master thesis of the University of Chinese Academy of Sciences (Research Center of Soil and Water Conservation and Ecological Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Education): 1~40.
- Zhao Xiwen. 1992#. Introduction Paleoclimatology. Beijing: Geology Press, 1~30.

# The dry and wet characteristics of paleosoil indicating the climatic evolution of late Paleozoic

LÜ Dawei<sup>11</sup>, ZHANG Aocong<sup>11</sup>, ZHANG Zhihui<sup>11</sup>, GAO Yuan<sup>21</sup>, WANG Dongdong<sup>11</sup>,

LIU Haiyan<sup>1)</sup>, XU Jincheng<sup>1)</sup>, WANG Luojing<sup>1)</sup>, TIAN Xing<sup>3)</sup>

1) Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong, 266590;

2) China University of Geosciences (Beijing), Beijing, 100083; 3) Southwest University, Chongqing, 400715

**Objectives**: Paleosoil is an important record of climate change in geological history. Through the information of palaeosoil records, the paleoenvironmentand paleoclimatecan be reconstructed qualitatively and quantitatively, providing basis for understanding various geological events in geological history. Most of the previous studies have been carried out on palaeosoil in specific areas, but the global palaeosoil data collation, paleoclimateand paleoenvironment research are relatively few.

Methods: Based on the indicator function of the dry and wet condition of paleosoilto the paleoclimate

environment, we classified the paleosol  $(410 \sim 255 \text{ Ma})$  reported by previous researchers into two types: arid paleosoiland humid paleosoil according to the plant root trace, root structure and root fossil, clay minerals and the structure of paleosoil.

**Results**: Paleoclimate compares the dry and wet characteristics of paleosoils with other climate – sensitive sediments, Compared with typical sensitivity sediments, the arid and humid paleosoil distributions are consitent with calcareous tuberculosis (evaporite), kaolinite (coal and bauxite), respectively. The arid paleosoilis mainly distributed in the middle and low latitude arid area of late Paleozoic. Humidpaleosoils are mainly distributed in the late Paleozoic near the equator and mid–latitude moist regions.

**Conclusions**: Based on the above analysis, it is concluded that the dry and wet characteristics of paleosoil can be used as a new climate sensitive index to indicate the paleoclimate environment, and then as a strong basis for the division of climatic zones.

Keywords: paleosoil; Paleoclimate zonation; Late paleozoic era; Climate-sensitive sediment; Paleoclimate reconstruction

Acknowledgements: This study was financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 41972170) and International Grand Science Project—Deep-time Digital Earth

First author: LÜ Dawei, male, born in 1980, professor, mainly engaged in sedimentology and Geology of energy. Email: lvdawei95@163. com.

 Manuscript received on: 2022-06-22; Accepted on: 2022-08-06; Network published on: 2022-08-20

 Doi: 10. 16509/j. georeview. 2022. 08. 141
 Edited by: LIU Zhiqiang

章雨旭注:前一稿上首页标注的国家自然科学基金编号有误(Acknowledgements 中的编号正确),故更新。20220821-07:10。

参考文献	Kabanov et al., 2010	Teixeira et al., 2018	Teixeira et al., 2018	Ramos, 1988	Sauer et al., 2006	Rachlewicz, 2007	Brezinski et al., 2008	Goemaere et al., 2005	Shumilov et al., 2009	Mintz et al., 2010	Abouessa et al., 2012	Abouessa et al., 2012	Abouessa et al., 2012	Van Loevezijn et al., 2017	Van Loevezijn et al., 2017	Ovsyuchenko et al., 2017	Felix, 1994	Felix, 1994	Mader, 1981	Guo Xuelian et al., 2019	Brezinski et al., 2008	Guo Xuelian et al., 2019	Guo Xuelian et al., 2019	宋宏, 2020	宋宏, 2020	宋宏, 2020	Narkiewicz et al., 2014	Narkiewicz et al., 2014	Alkatiri, 2016	Dreesen et al., 2004	Rixhon et al., 2011	Naitza et al., 2019	Halupczok et al., 2018	Van Loevezijn et al. , 2017		relauer et al., 2012 7.1 · 1 2001	Zinke et al. , 2001 Wu Kongyou et al. , 2013
古土壤类型	千旱古土壤	湿润古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤	于旱古土壤	于旱古土壤	于旱古土壤	千旱古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤	于旱古土壤	于旱古土壤	湿润古土壤	于旱古土壤	千旱古土壤	于旱古土壤	千旱古土壤	湿润古土壤	于旱古土壤	湿润古土壤	于旱古土壤	于旱古土壤	湿润古土壤	于旱古土壤	于旱古土壤		湿润古土壤	于旱古土壤	湿润古土壤	理 - 十 日 1	※十日十一 ※ 王 二 ※ 王 日 二 ※ 王 日 二 二 ※ 王 日 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三	隠 溜 油 山 工 援 一 千 早 古 土 嬢 一
特征依据	出现泥裂、部分存在滑擦面	根石短小、根迹部分保存铁锰氧化物	上层土壤根系细长、分布泥裂	根化石呈黄棕色边缘钙质物	粘土矿物赋存、高岭石含量高	根石短小、根迹部分保存铁锰氧化物	气候湿润、粘土矿物赋存	灰色排水较差古土壤、根系短小	根系短小、碳化根石与潜育带明显	气候于旱、分布泥裂	根化石呈黄棕色边缘钙质物	根化石呈黄棕色边缘钙质物	于旱根化石呈黄棕色边缘钙质物	分布雨痕、粘土矿物赋存	分布雨痕、粘土矿物赋存	干旱裂缝分布较多	气候于旱、分布泥裂	根石短小、根迹部分保存铁锰氧化物	泥裂、伪背斜	风蚀于旱地貌	古土壤分布干旱裂缝	上层土壤气候干旱、分布泥裂	气候湿润、粘土矿物赋存	土壤上层干旱裂缝较多	半湿润气候、高岭石、粘土矿物比值 (伊/蒙混层增加)	泥裂、肺鱼洞穴遗迹	气候于旱、分布泥裂	古土壤排水较差、碳质根石分布	出现泥裂、部分存在滑擦面	古土壤出现泥裂		气候湿润、大量的植物化石	气候于旱、根石细长	灰色地层灰色土壤、铝土矿、 *** - **********	粘土矿物赋存 有母居自命公 超子核公司留下	「実」十述は、彼白袖ジは追いした事がなりた。	<i>尔</i> 伊奥钾������� 古土壤出现泥裂
颜色	棕色			红色	灰色	灰色	-	灰色		红褐色	红褐色	红褐色	红褐色	灰色	灰色	红褐色	褐色	灰色			红褐色	红褐色		红褐色	灰色	红褐色	红褐色	红褐色	-	红褐色			红褐色	灰色	14.3日 左	11 12 13 13	称色
古经度(E)	29.53	-108.42	-108.42	91.95	7.13	-7.03	64.68	5.28	8.78	63.61	28	41.69	46.62	18.83	20.45	18.51	7.48	25.39	6.68	64.53	-83.7	78.95	78.95	78.58	78.58	78.58	32.74	32.74	123.37	6.55	6.2	26.73	-137.9	18. 23		41.27	90. 8/ 64. 21
古纬度(N)	-22.83	-68.84	-68.84	-40.1	-20.78	3. 05	10.96	-22.15	5.05	10.03	-49.93	-54.43	-48.71	-34.55	-37.69	38.01	-21.9	-25.45	-21.23	18.79	-27.6	-22.96	-22.96	-23.14	-23.14	-23.14	-19.68	-19.68	20.94	-22.14	-21.58	-31.31	-66.54	-32.4		55.55	- c4. cc 18. 2
经度(E)	14.06	-69.15	-69.15	69.54	7.83	16.54	76.25	4.35	50.18	74.45	9.82	18.75	23. 25	-3.86	-0.72	95.95	7.23	7.05	6.87	85.92	-84.25	104.67	104.67	104.23	104. 23	104.23	20.67	20.67	113.25	5.91	5.98	8.27	-68.55	-5.67	21 001	CI .CUI	45. U8 84. 97
纬度(N)	49.92	-29.95	-29.95	-45.25	51.02	78.41	41.95	50.84	65.73	42.40	24.95	20.22	25.20	40.32	37.94	51.75	49.91	49.20	50.89	45.50	10.04	36.83	36.83	36.67	36.67	36.67	50.97	50.97	-7.49	50.21	50.85	40.73	-41.25	42.05		45.22	- 12. 85 45. 55
年代(Ma)	409.2	406.25	406.25	406.25	406.25	406.25	406.25	406.25	385.2	388	365.8	365.8	377.45	377.45	377.45	377.45	385.2	385.2	385.2	385.2	385.2	370	370	370	370	370	385.2	385.2	385.2	385.2	365.8	385.2	385.2	377.45		C+.//C	377.45
运	布拉格阶	埃姆斯阶	埃姆斯阶	埃姆斯阶	埃姆斯阶	埃姆斯阶	埃姆斯阶	埃姆斯阶	吉维特阶	吉维特阶	法门阶	法门阶	弗拉斯阶	弗拉斯阶	弗拉斯阶	弗拉斯阶	吉维特阶	吉维特阶	吉维特阶	吉维特阶	吉维特阶	法门阶	法门阶	法门阶	法门阶	法门阶	吉维特阶	吉维特阶	吉维特阶	吉维特阶	法门阶	吉维特阶	吉维特阶	弗拉斯阶	とする	<u> </u>	<sup>百 雜 行 例</sup> 弗拉斯阶
申	早泥盆世	早泥盆世	早泥盆世	早泥盆世	早泥盆世	早泥盆世	早泥盆世	早泥盆世	中泥盆世	中泥盆世	晚泥盆世	晚泥盆世	晚泥盆世	晚泥盆世	晚泥盆世	晚泥盆世	中泥盆世	中泥盆世	中泥盆世	中泥盆世	中泥盆世	晚泥盆世	晚泥盆世	晚泥盆世	晚泥盆世	晚泥盆世	中泥盆世	中泥盆世	中泥盆世	中泥盆世	晚泥盆世	中泥盆世	中泥盆世	晚泥盆世	100 3ET 스크L	死 /// 鱼 旦 一 屋 泊 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一	既???
时代(纪)	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	百分	75年45	洗 单 孔 泥 盆 纪

附表 1:数据库

发 首 022年8月

Ж

2

\_

络

评

# GEOLOGICAL REVIEW

Pre-pub. online 2022 Ang

参考文献	Cortecci et al., 1989	Liberato et al., 2017	Gutierrez et al., 2005	Barreto et al., 2014	Wulser et al., 2011	Ricordel et al., 2010	Wang Yue et al., 2016	Long Xiaoping et al., 2012	Zavattieri et al., 2017	Da et al. , 2002	Retallack et al., 2011	Retallack et al., 2011	Vincent et al., 2015	Sailhac et al., 2009	Abouessa et al., 2012	Tofalo et al., 2010	Khalifa, 2005	Peng Yuan et al., 2018	Fernández et al., 2011	Fernúndez et al., 2011	Ohar, 2021	Rogozhin et al., 2012	Mccann et al., 2006	Alekseeva et al., 2018	Sciunnach et al., 1996	Holz et al., 2000	Holz et al., 2000	Alekseeva et al. ,2016	Alekseeva et al. ,2016	Mosseichik et al., 2009	Khalifa, 2005								
古土壤类型	千旱古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	湿润古土壤	于旱古土壤	于旱古土壤	千旱古土壤	于旱古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	湿润古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤	千旱古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤		湿润古土壤	湿润古土壤	千旱古土壤		湿润古土壤	千旱古土壤	于旱古土壤	湿润古土壤	千旱古土壤						
特征依据	气候于旱、分布泥裂	土壤粘土矿物赋存、受湿润气候影响	灰色古土壤、粘土矿物赋存(高岭石)	红褐色古土壤、裂缝较多	土壤表面出现泥裂、根系较长	土壤粘土矿物赋存、受湿润气候影响	红褐色古土壤、根系延伸较长	高岭石含量较低、上层出现于旱裂缝	根石短小、根迹部分保存铁锰氧化物	气候湿润、根迹呈褐色或青色	气候湿润、碳质根石分布	排水良好的古土壤	气候于旱、古土壤出现泥裂	碳质根石分布	黄白色的古土壤、沙漠化土壤	上层植物根石呈黄棕色卷须	土壤中的白云化作用需要潮湿环境	根石短小、根迹部分保存铁锰氧化物	于早裂缝较多	粘土矿物高岭石含量高	植物根迹较短、动物化石分布较多		古土壤出现碳质根石	湿润气候、碳质根石分布	干旱裂缝较多		分布黄钾铁矾保存的根石	古土壤颜色、干旱裂缝	于旱裂缝广布	沼泽地形下排水不良的古土壤	气候干旱、古土壤出现泥裂								
颜色	红褐色		灰色	红褐色			红褐色													红褐色		灰色														红褐色	红褐色	灰色	
古经度(E)	22.35	-83.91	23.56	-106.91	147.51	35.55	76.54	24.93	24.93	24.93	24.93	24.93	24.93	24.93	24.93	24.93	83.39	-19.58	-23.39	-23.39	52.35	12.4	15.65	-9.3	43.54	50.87	1.89	1.89	22.79	93.99	5.8	20.35	84.99	0.3	0.3	20.08	23.6	18.79	63.68
古纬度(N)	-69.75	-75.91	-33.62	-81.81	-26.57	-51.15	-21.75	34.88	34.88	34.88	34.88	34.88	34.88	34.88	34.88	34.88	-28.84	-55.25	-36.25	-36.25	-37.94	-10.44	-37.24	-27.2	-40.81	-1.61	-19.05	-19.05	-0.6	43.99	0.37	3.79	-55.9	-8.95	-8.95	3.85	2.88	18.51	-33.87
经度(E)	9.03	-83.91	0.55	-54.25	139.52	15.12	101.95	87.56	87.56	87.56	87.56	87.56	87.56	87.56	87.56	87.56	51.4	-80.88	-75	-75	52.15	7.23	18.24	-56.58	44.15	96.52	-6.57	-6.57	34.55	143.11	10.10	36.25	83.04	-3.37	-3.37	35.98	39.18	57.16	51.4
纬度(N)	4.09	-75.91	42. 63	-27.58	-32.25	23.85	38.15	48.95	48.95	48.95	48.95	48.95	48.95	48.95	48.95	48.95	32.7	25.77	42	42	28.12	48.21	25.55	34.25	26.15	37.55	37.75	37.75	49.59	52.71	59.20	54.50	29.21	51.52	51.52	54.73	51.63	65.11	32.7
年代(Ma)	385.2	388	377.45	385.2	385.2	385.2	385.2	377.45	377.45	377.45	377.45	377.45	377.45	377.45	377.45	377.45	377.45	377.45	377.45	377.45	341.05	341.05	341.05	341.05	341.05	341.05	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8
極	吉维特阶	吉维特阶	弗拉斯阶	吉维特阶	吉维特阶	吉维特阶	吉维特阶	弗拉斯阶	弗拉斯阶	弗拉斯阶	弗拉斯阶	弗拉斯阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶								
申	中泥盆世	中泥盆世	晚泥盆世	中泥盆世	中泥盆世	中泥盆世	中泥盆世	晚泥盆世	晚泥盆世	晚泥盆世	晚泥盆世	晚泥盆世	晚泥盆世	晚祝盆世	晚泥盆世	晚泥盆世	晚泥盆世	晚泥盆世	晚泥盆世	晚泥盆世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世
时代(纪)	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	泥盆纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪

2

参考文献	Khalifa, 2005	Kahmann et al., 2008	Kahmann et al. , 2008	Kahmann et al., 2008	Kahmann et al., 2008	Kahmann et al. , 2008	Kahmann et al., 2008	Kahmann et al., 2008	Kahmann et al. , 2008	Kahmann et al., 2008	Kahmann et al. , 2008	Kahmann et al. , 2008	Kahmann et al., 2008	Kahmann et al., 2008	Kahmann et al. , 2008	Kahmann et al. , 2008	Kahmann et al., 2008	Kahmann et al. , 2008	Kahmann et al., 2008	Kahmann et al., 2008																			
古土壤类型	湿润古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	于旱古土壤
特征依据	下层古土壤粘土矿物赋存、 高岭石含量较高	根石短小、根迹部分保存铁锰氧化物	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好											
颜色														红褐色	红褐色	红褐色	红褐色	红褐色	红褐色	红褐色	红褐色	红褐色	红褐色	红褐色	红褐色	红褐色	红褐色	红褐色	红褐色	红褐色	红褐色	红褐色	红褐色	红褐色	红褐色	红褐色	红褐色	红褐色	红褐色
古经度(E)	63. 68	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07	-25.07
古纬度(N)	-33.87	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73	-12.73
经度(E)	51.4	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84	-84
纬度(N)	32.7	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
年代(Ma)	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8	338.8
函	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶	维宪阶
Ħ	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世	早石炭世
时代(纪)	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪

3

时代(纪)	担	松	年代(Ma)	纬度(N)	经度(E)	古纬度(N)	古经度(E)	颜色	特征依据	古土壤类型	参考文献
石炭纪	早石炭世	维宪阶	338.8	37	-84	-12.73	-25.07	红褐色	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	千旱古土壤	Kahmann et al., 2008
石炭纪	早石炭世	维宪阶	338.8	37	-84	-12.73	-25.07	红褐色	古土壤出现泥裂、上层土壤排水良好	千旱古土壤	Kahmann et al., 2008
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	51.53	-2.38	-2. 98	6.82		根迹保存为铁锰氧化物或碳质根石	湿润古土壤	Vanstone, 1991
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	37	-84	-12.73	-25.07		根迹保存为铁锰氧化物或碳质根石	湿润古土壤	Kahmann et al., 2008
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	37	-84	-12.73	-25.07		根迹保存为铁锰氧化物或碳质根石	湿润古土壤	Kahmann et al., 2008
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	37	-84	-12.73	-25.07		根迹保存为铁锰氧化物或碳质根石	湿润古土壤	Kahmann et al., 2008
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	37	-84	-12.73	-25.07		根迹保存为铁锰氧化物或碳质根石	湿润古土壤	Kahmann et al., 2008
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	37	-84	-12.73	-25.07		根迹保存为铁锰氧化物或碳质根石	湿润古土壤	Kahmann et al., 2008
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	37	-84	-12.73	-25.07		根迹保存为铁锰氧化物或碳质根石	湿润古土壤	Kahmann et al., 2008
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	37	-84	-12.73	-25.07		根迹保存为铁锰氧化物或碳质根石	湿润古土壤	Kahmann et al., 2008
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	37	-84	-12.73	-25.07		根迹保存为铁锰氧化物或碳质根石	湿润古土壤	Kahmann et al., 2008
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	37	-84	-12.73	-25.07		根迹保存为铁锰氧化物或碳质根石	湿润古土壤	Kahmann et al., 2008
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	37	-84	-12.73	-25.07		根迹保存为铁锰氧化物或碳质根石	湿润古土壤	Kahmann et al., 2008
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	37	-84	-12.73	-25.07		根迹保存为铁锰氧化物或碳质根石	湿润古土壤	Kahmann et al., 2008
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	37	-84	-12.73	-25.07		根迹保存为铁锰氧化物或碳质根石	湿润古土壤	Kahmann et al., 2008
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	37	-84	-12.73	-25.07		根迹保存为铁锰氧化物或碳质根石	湿润古土壤	Kahmann et al., 2008
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	37	-84	-12.73	-25.07		根迹保存为铁锰氧化物或碳质根石	湿润古土壤	Kahmann et al., 2008
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	37	-84	-12.73	-25.07		根迹保存为铁锰氧化物或碳质根石	湿润古土壤	Kahmann et al., 2008
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	37	-84	-12.73	-25.07		根迹保存为铁锰氧化物或碳质根石	湿润古土壤	Kahmann et al., 2008
石炭纪	晚石炭世	巴什基尔阶	319.2	36.55	-84.50	-12.95	-25.64	红棕色	气候于旱、根石细长	于旱古土壤	Driese et al., 2005
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	54.72	35.97	8.93	26.49	灰褐色	古土壤排水不良、粘土矿物赋存	湿润古土壤	Alekseeva et al. ,2016
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	54.72	35.97	8. 93	26.49	红棕色	上层土壤出现细长的灰色斑点, 边缘为红色或紫色	千旱古土壤	Alekseeva et al. ,2016
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	50.65	18.38	-0.1	21.29	红棕色	泥裂分布、高岭石含量较低	千旱古土壤	Szulc, $2005$
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	54.62	39.73	10.24	28.25		植物根迹分布较短较大、 石炭纪动物化石较多	湿润古土壤	Ohar, 2021
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	54.08	1.15	-0.1	8.5		气候湿热、高岭石赋存	湿润古土壤	Wasielka, 2021
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	53.33	58.98	17.77	37.02		于旱裂缝较多	于旱古土壤	Richard et al., 2017
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	17.25	-89.52	-16.27	-36.98		灰泥排水较差的古土壤	湿润古土壤	Carozza et al., 2007
石炭纪	晚石炭世	巴什基尔阶	319.2	-39.75	-73.25	-53.82	-81.1		滑擦面、灰黑色古土壤	湿润古土壤	Vega et al., 2018
石炭纪	晚石炭世	巴什基尔阶	319.2	-39.75	-73.25	-53.82	-81.1		灰白色排水较好的古土壤	千旱古土壤	Vega et al., 2018
石炭纪	晚石炭世	巴什基尔阶	319.2	4825	15.85	-14.68	23.67		黄土沉积土壤较为干旱	千旱古土壤	Ujvari et al., 2013
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	29.88	-8.93	-15.93	-3.06		上层植物根石呈黄棕色卷须	千旱古土壤	Hlila et al. , 2007
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	61.66	50.83	19.33	27.25		下层古土壤高岭石赋存	湿润古土壤	Plekhanova, 2017
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	61.66	50.83	19.33	27.25		上层古土壤高岭石含量较低	千旱古土壤	Plekhanova, 2017
石炭纪	晚石炭世	莫斯科阶	310	55.42	37.55	10.04	26.76		湿润根迹保存为铁锰氧化物或碳质根石	湿润古土壤	Kabanov et alk., 2010
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	7.23	49.19	-56.87	49.88	灰黑色	气候湿润、碳质黑化石存在较多	湿润古土壤	Felix, 1994
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	7.23	49.19	-56.87	49.88				Felix, 1994
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	-29.20	-68.85	-48.95	-64.96		气候湿润、高岭石赋存	湿润古土壤	Tedesco et al., 2010
石炭纪	早石炭世	谢尔普霍夫阶	327.05	-30.25	-69.13	-49.59	-66.29		古土壤高岭石含量高、排水不良	湿润古土壤	González et al., 2010

4

参考文献	Konyukhov et al., 2006	Sciunnach et al., 1996	Izart et al., 2016	Karakitsios et al., 1998	Stevaux et al., 2006	Kolchugin et al., 2018	Sciunnach et al., 1996	Da et al. , 2002	Naitza et al., 2019	Hartwig et al., 2010	Da et al. , 2002	Barbier et al., 2015	Barbier et al., 2015	Kuleshov et al., 2019	Bélanger et al. , 2014	Michel et al., 2015	Boekhout et al., 2015	Méndez et al., 2020	Méndez et al., 2020	Naugolnykh, 2016	Zhang Peixing et al., 2021	Zhang Peixing et al., 2021	Ricardi, 2008	Deville et al. , 1994	Cantrill, 1997	jvári et al., 2013	Stampfli et al., 2003	Abouessa et al., 2012	Abouessa et al., 2012	Stworzewicz et al., 2009	Korzhenkov et al., 2016	Rogozhin et al., 2012	Kuleshov et al 2019					
古土壤类型		湿润古土壤	于旱古土壤	于旱古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤	于旱古土壤	于旱古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤	于旱古土壤	于旱古土壤	于旱古土壤	于旱古土壤	于旱古土壤	于旱古土壤	于旱古土壤	于旱古土壤	于旱古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤		千旱古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤		于旱古土壤	湿润古土壤	湿润古土壤	于旱古土壤	湿润古土壤	于旱古土壤	于旱古土壤	湿润古土壤	于旱古土壤	于旱古土壤	千旱古土壤
特征依据		温湿的环境、碳质根化石	古土壤表面出现泥裂	根石呈黄棕色卷须根瘤体	碳质化根石、煤层较多	碳质黑化石存在较多	古土壤表面出现泥裂	根石呈黄棕色卷须根瘤体	土壤高岭石含量高、很根系较短	大量带有根管的古土壤层	根系呈红褐色且延伸较长	气候条件于旱、古土壤表面出现泥裂	气候条件于旱、古土壤表面出现泥裂	根化石呈黄棕色边缘钙质物	根化石呈黄棕色边缘钙质物	根化石呈黄棕色边缘钙质物	根化石呈黄棕色边缘钙质物	根化石呈黄棕色边缘钙质物	根化石呈黄棕色边缘钙质物	气候湿润、大量的植物化石	高岭石含量较高	粘土矿物(高岭石、伊利石) 居多、古土壤的颜色		上层植物根石呈黄棕色卷须	水成古土壤化石	粘土矿物高岭石含量高		细长的灰色斑点,边缘为红色或紫色	带有水侵蚀的古土壤、 排水不良的湿润的古土壤	大量的植物化石	黄土沉积、上层植物根石呈黄棕色卷须	气候湿热、粘土矿物高岭石含量高	泥裂、干旱的裂缝和土壤颜色	于旱古土壤颜色、根石较细长	气候湿热、粘土矿物高岭石含量高	分布千旱裂缝	红褐色古土壤、裂缝	泥裂、肺角洞穴溃迹
颜色							红棕色		灰色		红棕色	红棕色	红棕色	红棕色	红棕色	红棕色	红棕色	红棕色	红棕色	灰色	灰色	灰色		红棕色						Gray		灰色		红棕色	灰色		红棕色	棕色
古经度(E)	38.62	82.8	9.97	20.59	20.33	26.55	73.36	8.37	6.08	13.08	8.37	-35.95	-35.95	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	-22.73	16.48	14.59	-59.5	-59.5	33.58	82.8	82.8	-36.96	17.78	-106.85	-85.97	23.05	20.48	9.68	24.71	63.56	64.58	28.75
古纬度(N)	11.13	-63.05	0.54	-23.63	-0.01	9.45	-60.42	-30.13	-0.01	-3.02	-30.13	3.87	3.87	22.25	22.25	22.25	22.25	22.25	22.25	-4.43	-4. 27	-3.01	-44.72	-44.72	14.34	16.6	16.6	-10.21	-1.42	-65.5	-54.23	-20.07	-32.01	-23.43	5.18	32.12	34.58	23.7
经度(E)	52.25	85.35	3.85	20.15	17.03	36.61	79.5	-80.88	-2.91	7.28	11.15	-108.33	-108.33	46.17	46.17	46.17	46.17	46.17	46.17	-88.75	3.32	1.08	-68.92	-68.92	38.92	113.33	113.33	-70.16	6.02	-69.02	15.52	21.43	24.15	9.98	19.08	78. 29	81.86	44.01
纬度(N)	48.00	28.89	54.40	39.12	51.11	55.09	29.83	25.77	54.57	50.16	25.57	44.51	44.51	60.75	60.75	60.75	60.75	60.75	60.75	38.75	43.73	45.33	-31.17	-31.17	53.67	34.30	34.30	9.50	46. 21	-72.09	-48.20	39.20	25.12	26.75	50.23	43.02	43.15	63.75
年代(Ma)	327.05	327.05	319.2	319.2	319.2	319.2	319.2	319.2	319.2	319.2	319.2	319.2	319.2	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	310	310	310	310	300	300	300	300	300	300
运	谢尔普霍夫阶	谢尔普霍夫阶	巴什基尔阶	巴什基尔阶	巴什基尔阶	巴什基尔阶	巴什基尔阶	巴什基尔阶	巴什基尔阶	巴什基尔阶	巴什基尔阶	巴什基尔阶	巴什基尔阶	格舍尔阶	格舍尔阶	格舍尔阶	格舍尔阶	格舍尔阶	格舍尔阶	格舍尔阶	格舍尔阶	格舍尔阶	莫斯科阶	莫斯科阶	莫斯科阶	莫斯科阶	格舍尔阶	格舍尔阶	格舍尔阶	格舍尔阶	格舍尔阶	格舍尔阶						
目	早石炭世	早石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世	晚石炭世
时代(纪)	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪	石炭纪

时代(纪)	申	銢	年代(Ma)	纬度(N)	经度(E)	古纬度(N)	古经度(E)	颜色	特征依据	古土壤类型	参考文献
石炭纪	晚石炭世	格舍尔阶	300	46.32	11.06	-9.67	22.59		根系短小、排水不良水分较多	湿润古土壤	Martin et al., 2009
石炭纪	晚石炭世	格舍尔阶	300	34.5	113.40	16.75	82.95				Peng Yaun et al., 2018
石炭纪	晚石炭世	格舍尔阶	300	51.68	-3.68	2. 79	10.53		蒙脱石含量 25%表示湿润	湿润古土壤	Song Xieyan et al., 2008
石炭纪	晚石炭世	格舍尔阶	300	42.59	-5.56	-4.20	11.11	黄褐色	黄铁矿、水相古土壤	湿润古土壤	Bahamonde et al., 2017
石炭纪	晚石炭世	格舍尔阶	300	50.45	30.52	8.76	31.12	黄褐色	古土壤沿着水系分布	湿润古土壤	Ohar, 2021
二叠纪	早二叠世	萨克马林阶	295	-28.20	-61.32	-42.66	-41.01	褐色	根系短小、古土壤排水不良	湿润古土壤	Zavattieri et al., 2017
二叠纪	早二叠世	萨克马林阶	295	61.15	46.25	28.5	37.24		泥裂、根系延伸长	于旱古土壤	Holz et al., 2000
二叠纪	早二叠世	萨克马林阶	295	9.50	-70.16	-10.21	-36.96		泥裂	于旱古土壤	Ricardi, 2008
二叠纪	早二叠世	萨克马林阶	295	43.73	3.32	-4.27	16.48	灰色、褐色	青土	于旱古土壤	Michel et al., 2015
二叠纪	早二叠世	萨克马林阶	295	24.53	51.25	-36.02	46.07		植物根迹延伸较短、化石居多 表示气候较为湿润	湿润古土壤	Boardman et al. , 2012
二叠纪	早二叠世	萨克马林阶	295	-31.17	-68.92	-44.72	-59.5				Méndez et al., 2020
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	33.5	-98.50	1.45	-28.45	灰色	气候湿润、粘土矿物赋存	湿润古土壤	Tabor et al., 2002
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	33.5	-98.50	1.45	-28.45	灰色	气候湿润、粘土矿物赋存	湿润古土壤	Tabor et al., 2002
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	33.5	-98.50	1.45	-28.45	灰色	气候湿润、粘土矿物赋存	湿润古土壤	Tabor et al., 2002
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	33.5	-98.50	1.45	-28.45	灰色	气候湿润、粘土矿物赋存	湿润古土壤	Tabor et al., 2002
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	33.5	-98.50	1.45	-28.45	灰色	气候湿润、粘土矿物赋存	湿润古土壤	Tabor et al., 2002
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	33.5	-98.50	1.45	-28.45	灰色	气候湿润、粘土矿物赋存	湿润古土壤	Tabor et al., 2002
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	33.5	-98.50	1.45	-28.45	红棕色	上层古土壤出现于旱裂缝	于旱古土壤	Tabor et al., 2002
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	33.5	-98.50	1.45	-28.45	红棕色	上层古土壤出现于旱裂缝	于旱古土壤	Tabor et al., 2002
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	33.5	-98.50	1.45	-28.45	红棕色	上层古土壤出现于旱裂缝	于旱古土壤	Tabor et al., 2002
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	33.5	-98.50	1.45	-28.45	红棕色	上层古土壤出现于旱裂缝	于旱古土壤	Tabor et al., 2002
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	33.5	-98.50	1.45	-28.45	红棕色	上层古土壤出现于旱裂缝	于旱古土壤	Tabor et al., 2002
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	33.5	-98.50	1. 45	-28.45	红棕色	上层古土壤出现于旱裂缝	千旱古土壤	Tabor et al., 2002
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	33.5	-98.50	1.45	-28.45	红棕色	上层古土壤出现于旱裂缝	于旱古土壤	Tabor et al., 2002
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	60.75	46.17	28.17	37.50	红棕色	根石保存为棕红色的钙质边缘、泥裂	于旱古土壤	Kuleshov et al., 2019
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	60.75	46.17	28.17	37.50	红棕色	根石保存为棕红色的钙质边缘、泥裂	于旱古土壤	Kuleshov et al., 2019
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	60.75	46.17	28.17	37.50	红棕色	根石保存为棕红色的钙质边缘、泥裂	于旱古土壤	Kuleshov et al., 2019
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	60.75	46.17	28.17	37.5	红棕色	根石保存为棕红色的钙质边缘、泥裂	于旱古土壤	Kuleshov et al., 2019
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	60.75	46.17	28.17	37.50	红棕色	根石保存为棕红色的钙质边缘、泥裂	于旱古土壤	Kuleshov et al., 2019
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	60.75	46.17	28.17	37.50	红棕色	根石保存为棕红色的钙质边缘、泥裂	于旱古土壤	Kuleshov et al., 2019
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	34.5	113.40	16.75	82.95				Zhang Peixing et al., 2021
二叠纪	早二叠世	萨克马林阶	295	-27.25	-49.89	-46.13	-27.95		古土壤沿着水系分布	湿润古土壤	Simas et al., 2012
二叠纪	早二叠世	萨克马林阶	295	26.15	44.15	-32.39	39.38		土壤中的白云化作用需要潮湿环境	湿润古土壤	Khalifa, 2005
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	55.03	48.88	24.68	42.81	红棕色	根石保存为棕红色的钙质边缘、泥裂	于旱古土壤	Khaziev et al. ,2016
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	55.03	48.88	24.68	42.81	红棕色	根石保存为棕红色的钙质边缘、泥裂	于旱古土壤	Khaziev et al. ,2016
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	55.03	48.88	24.68	42.81	红棕色	根石保存为棕红色的钙质边缘、泥裂	于旱古土壤	Khaziev et al. ,2016
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	55.03	48.88	24.68	42.81	红棕色	根石保存为棕红色的钙质边缘、泥裂	于旱古土壤	Khaziev et al. ,2016
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	55.03	48.88	24.68	42.81	红棕色	根石保存为棕红色的钙质边缘、泥裂	千旱古土壤	Khaziev et al. ,2016
二叠纪	早二叠世	阿瑟尔阶	298	55.03	48.88	24.68	42.81	红棕色	根石保存为棕红色的钙质边缘、泥裂	于旱古土壤	Khaziev et al., 2016

参考文献	Khaziev et al. ,2016	Zhang Peixing et al., 2021	Zhang Peixing et al., 2021	Boardman et al., 2012	Jasper et al., 2006	Felauer et al., 2012	Ei Albani et al., 2005	Ei Albani et al., 2005	Korzhenkov et al., 2016	Hu Junjie et al., 2015	Jasper et al., 2006	Geißler et al., 2008	Holz et al., 2000	Khalifa, 2005	Konyukhov et al. , 2006																									
古土壤类型	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	于旱古土壤	千旱古土壤	于旱古土壤				湿润古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	于旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	千旱古土壤	于旱古土壤	千旱古土壤	于旱古土壤	于旱古土壤	千旱古土壤	湿润古土壤	于旱古土壤	千旱古土壤		千旱古土壤						
特征依据	根石保存为棕红色的钙质边缘、泥裂				古土壤排水不良、碳质根石	古土壤表面出现泥裂	根系细长、分布泥裂	根系细长、分布泥裂	根系细长、分布泥裂	古土壤表面出现泥裂	根石保存为棕红色的钙质边缘、泥裂	土壤排水不良	土壤排水良好、气候较为干旱	带有根痕的结核状古土壤		根系延伸较长、直径较粗																								
颜色	红棕色					红棕色			红棕色																				灰色											
古经度(E)	42.81	42.81	42.81	42.81	42.81	42.81	42.81	42.81	42.81	82.95	82.95	-31.49	-29.57	-48.15	-42.19	-42.19	34.77	75.22	75.22	75.22	75.22	75.22	75.22	75.22	75.22	75.22	75.22	75.22	75.22	75.22	75.22	75.22	75.22	75.22	75.22	-32.08	23.33	-29.25	37.51	49.41
古纬度(N)	24.68	24.68	24.68	24.68	24.68	24.68	24.68	24.68	24.68	16.75	16.75	-47.92	-48.55	-43.42	-6.43	-6.43	17.84	-33.23	-33.23	-33.23	-33.23	-33.23	-33.23	-33.23	-33.23	-33.23	-33.23	-33.23	-33.23	-33.23	-33.23	-33.23	-33.23	-33.23	-33.23	-47.32	13.08	-48.16	-30.56	20.61
经度(E)	48.88	48.88	48.88	48.88	48.88	48.88	48.88	48.88	48.88	113.40	113.40	-51.85	-50.21	-66.30	-98.29	-98.29	31.65	87.07	87.07	87.07	87.07	87.07	87.07	87.07	87.07	87.07	87.07	87.07	87.07	87.07	87.07	87.07	87.07	87.07	87.07	-52.55	11.45	-50.15	41.7	52.25
纬度(N)	55.03	55.03	55.03	55.03	55.03	55.03	55.03	55.03	55.03	34.5	34.5	-30.25	-30.33	-31.21	18.50	18.50	53.55	33.08	33.08	33.08	33.08	33.08	33.08	33.08	33.08	33.08	33.08	33.08	33.08	33.08	33.08	33.08	33.08	33.08	33.08	-29.85	53.25	-29.89	27.2	48.00
年代(Ma)	298	298	298	298	298	298	298	298	298	270.85	285	285	285	285	285	285	278.2	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	295	278.2	278.2	285	285
纭	阿瑟尔阶	罗德阶	阿尔丁斯克阶	阿尔丁斯克阶	阿尔丁斯克阶	阿尔丁斯克阶	阿尔丁斯克阶	阿尔丁斯克阶	空谷尔阶	阿尔丁斯克阶	萨克马林阶	空谷尔阶	空谷尔阶	阿尔丁斯克阶	阿尔丁斯克阶																									
书	早二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	早二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世								
时代(纪)	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪									

参考文献	bor et al., 2007	bor et al. , 2007	stato et al., 2017	bor et al. , 2005	zulo et al., 2009	olz et al., 2000	ikov et al. ,2016	stato et al., 2017	Cheng et al., 2019	neier et al., 2010	收据库信息的录入。	き型进行数据库的
<b>古土壤类型</b>	显润古土壤 Ta	显润古土壤 Ta	显润古土壤 Lib	F旱古土壤 Ta	显润古土壤 Car	H	显润古土壤 Bi	F旱古土壤 Lib	显润古土壤 Cheng	F旱古土壤 Kall	的摘取和筛查,进行数	和湿润古土壤两种药
特征依据	根系短小、碳化根石与潜育带明显	根系短小、碳化根石与潜育带明显	古土壤排水不良	泥裂分布,根石保存为钙质物	气候条件湿热		古土壤排水不良、近岸水下沉积	根系细长、根石呈黄棕色卷须的根瘤体	根系短小、碳化根石与潜育带明显	气候千旱、古土壤表面出现泥裂	《信息的文章,进行古土壤年代和地理位置的	等依据、将收集到的古土壤分为千旱古土壤
颜色	灰色	灰色			灰色		灰色		灰色	红棕色	关于古土填	1结构构造
古经度(E)	-40.27	-38.40	-83.91	-27.93	-25.59	-29.09	37.31	149.32	89.73	25.17	前人发表的	以及古土壤的
古纬度(N)	-61.57	-61.09	-75.91	0.82	-40.35	-47.79	67.59	-77.1	-4.3	12.94	言息通过搜集	1、黏土矿物1
经度(E)	24.56	24.20	-83.91	-97.58	-50.56	-50.20	140.25	159.83	108.21	14.25	立的。数据信	结构与根化 7
纬度(N)	-31.22	-30.25	-75.91	33.21	-21.25	-29.51	63.12	-72.70	33.25	52.62	与收集而建立	]根迹、根系组
年代(Ma)	255.5	255.5	255.5	255.5	255.5	255.5	255.5	255.5	266	266	信息的整理-	章提及、植物
例	吴家坪阶	吴家坪阶	吴家坪阶	吴家坪阶	吴家坪阶	吴家坪阶	吴家坪阶	吴家坪阶	罗德阶	罗德阶	代古土壤的相关	的信息是通过文
中	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	中晚二叠世	<b>享是对晚古生</b> {	中于湿古土壤的
时代(纪)	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	二叠纪	注:本数据应	数据库中

27 数据库记录了晚古生代古土壤数据信息总计282条;其中泥盆纪时期古土壤数据 一位置的情况。 库中存在多个古土壤信息对应于同 数据厚 多数的古土壤数据出现在石炭纪和二叠纪时期。 等空间古土壤数据. 相关录人,少数是通过分析整体地层干湿情况以及整体地层具有的相关特征进行的数据信息的录 干湿情况 古土壤的地质年代、古今地理位置 条 85 数据 古土壤线 叠纪时期 古土壤数据库包括晚古生代不同时期; 条 140 百炭纪时期古土壤数据

### 参考文献 / References

(The literature whose publishing year followed by a "&" is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a "#" is in Chinese without English abstract)

- 宋宏. 2020. 甘肃白银晚泥盆世古土壤黏土矿物特征及古气候研究. 导师:郭雪莲. 兰州:兰州大学硕士学位论文: 1~40.
- Abouessa A, Pelletier J, Duringer P, Schuster M, Schaeffer P, Metais E, Benammi M, Salem M, Hlal O, Brunet M. 2012. New insight into the sedimentology and stratigraphy of the Dur At Talah tidal – fluvial transition sequence (Eocene-Oligocene, Sirt Basin, Libya) Journal of African Earth Sciences, 65: 72~90.
- Alekseeva T V, Alekseev A O, Gubin S V, Kabanov P B, Alekseeva V A. 2016. Palaeoenvironments of the Middle – Late Mississippian Moscow Basin (Russia) from multiproxy study of palaeosols and palaeokarsts. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 450: 1~16.
- Alekseeva T V, Alekseev A O, Kalinin P I. 2018. The Mississippian paleosols in the Brontsy quarry, Kaluga region. Eurasian Soil Science, 51(7): 744~757.
- Alkatiri F. 2016. Dinamika Sedimentasi Formasi Prupuh dan Paciran daerah Solokuro dan Paciran, Lamongan, Jawa Timur. ReTII: 1~5.
- Bahamonde J R, Della P G, Merino-Tomé O A. 2017. Lateral variability of shallow-water facies and high-frequency cycles in foreland basin carbonate platforms (Pennsylvanian, NW Spain). Facies, 63(2): 1 ~39.
- Barbier M, Floquet M, Hamon Y, Callot J P. 2015. Nature and distribution of diagenetic phases and petrophysical properties of carbonates: The Mississippian Madison Formation (Bighorn Basin, Wyoming, USA). Marine and Petroleum Geology, 67: 230~248.
- Barreto C J S, De Lima E F, Scherer C M, Rossetti L M. 2014. Lithofacies analysis of basic lava flows of the Paraná igneous province in the south hinge of Torres Syncline, Southern Brazil. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 285: 81~99.
- Bélanger N, Carcaillet C, Padbury G A, Harvey-Schafer A N, Van Rees K J C. 2014. Periglacial fires and trees in a continental setting of Central Canada, Upper Pleistocene. Geobiology, 12(2): 109~118.
- Biakov A S, Zakharov Y D, Horacek M, Richoz S, Kutygin R V, Ivanov Y Y, Kolesov E V, Konstantinov A G, Tuchkova M I, Mikhalitsyna T I. 2016. New data on the structure and age of the terminal Permian strata in the South Verkhoyansk region (northeastern Asia). Russian Geology and Geophysics, 57(2): 282~293.
- Boardman D R, Iannuzzi R, De Souza P A, Da Cunha L R. 2012. Paleobotanical and palynological analysis of faxinal coalfield (lower permian, Rio Bonito Formation, Paraná Basin), Rio Grande do sul, Brazil. International Journal of Coal Geology, 102: 12~25.
- Boekhout F, Gérard M, Kanzari A, Michel A, Dejeant A, Galoisy L, Calas G, Descostes M. 2015. Uranium migration and retention during weathering of a granitic waste rock pile. Applied Geochemistry, 58: 123~135.
- Brezinski D K, Cecil C B, Skema V W, Stamm R. 2008. Late Devonian glacial deposits from the eastern United States signal an end of the mid-Paleozoic warm period. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 268(3~4): 143~151.
- Cantrill D J. 1997. Hepatophytes from the Early Cretaceous of Alexander Island, Antarctica: systematics and paleoecology. International Journal of Plant Sciences, 158(4): 476~488.
- Carozza J M, Galop D, Metailie J P, Vannière B, Bossuet G, Monna F,

条

Lopez-Saez J A, Arnauld M C, Breuil V, Forné M. 2007. Landuse and soil degradation in the southern Maya lowlands, from Pre-Classic to Post-Classic times: The case of La Joyanca (Petén, Guatemala). Geodinamica acta, 20(4): 195~207.

- Cazzulo K M, Mendonca F J G, Guerra S M, Menezes T R, Simas M W, Mendonca J O, Degani–Schmidt I. 2009. Effect of volcanic ash-fall on a Permian peat-forming environment, on the basis of palynology, palynofacies and paleobotany (Faxinal Coalfield, Brazil). Revista Brasileira de Paleontologia, 12(3): 179~194.
- Cheng Cheng, Li Shuangying, Xie Xiangyang, Cao Tingli, Manger W L, Busbey A B. 2019. Permian carbon isotope and clay mineral records from the Xikou section, Zhen´an, Shaanxi Province, central China: Climatological implications for the easternmost Paleo – Tethys. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 514: 407 ~ 422.
- Cortecci G, Thomassin B A, Maiorani A, Perna G, Pintus E, Turi B. 1989. Oxygen, sulfur, and strontium isotope and fluid inclusion studies of barite deposits from the Iglesiente-Sulcis mining district, southwestern Sardinia, Italy. Mineralium Deposita, 24(1): 34~42.
- Da S, Anne C, Boulvain F. 2002. Sedimentology, magnetic susceptibility and isotopes of a Middle Frasnian carbonate platform: Tailfer section, Belgium. Facies, 46(1): 89~101.
- Deville E, Blanc E, Tardy M, Beck C, Cousin M, Menard G. 1994. Thrust propagation and syntectonic sedimentation in the Savoy Tertiary Molasse Basin (Alpine foreland). In Hydrocarbon and petroleum geology of France: Springer: 269~280.
- Dreesen R, Dusar M. 2004. Historical building stones in the province of Limburg (NE Belgium): role of petrography in provenance and durability assessment. Materials Characterization, 53(2~4): 273~ 287.
- Driese S G, Ober E G. 2005. Paleopedologic and paleohydrologic records of precipitation seasonality from early Pennsylvanian "underclay" Paleosols, USA. Journal of Sedimentary Research, 75(6): 997 ~ 1010.
- Ei Alnani A, Vachard D, Furish F, Buitrón B, Flores De D A. 2005. Depositional environment and biofacies characterization of the Upper Pennsylvanian – Lower Permian deposits of the San Salvador Patlanoaya section (Puebla, Mexico). Facies, 50(3): 629~645.
- Felauer T, Schlütz F, Murad W, Mischke S, Lehmkuhl F. 2012. Late Quaternary climate and landscape evolution in arid Central Asia: A multiproxy study of lake archive Bayan Tohomin Nuurc, Gobi desert, southern Mongolia. Journal of Asian Earth Sciences, 48: 125~135.
- Felix H P. 1994. Mesozoic Tertiary weathering and soil formation on slates of the Rhenish Massif, Germany. Catena, 21(2~3): 229~ 242.
- Fernández R D C, Prieto B O, Gómez O D, Fernández S M, Sarrazin P, Gailhanou M, Amils R. 2011. Río Tinto sedimentary mineral assemblages: A terrestrial perspective that suggests some formation pathways of phyllosilicates on Mars. Icarus, 211(1): 114~138.
- Geißler M, Breitkreuz C, Kiersnowski H. 2008. Late Paleozoic volcanism in the central part of the Southern Permian Basin (NE Germany, W Poland): facies distribution and volcano – topographic hiati. International Journal of Earth Sciences, 97(5): 973~989.
- Goemaere E, Dejonghe L. 2005. Paleoenvironmental reconstruction of the mirwart formation (Pragian) in the lambest quarry (Flamierge, Ardenne, Belgium). Geologica Belgica: 1~5.
- González C R, Saravia P D. 2010. Bimodal character of the Late Paleozoic glaciations in Argentina and bipolarity of climatic changes. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 98(1~2): 101 ~111.

- Guo Xuelian, Retallack G J, Lü B, He Lusheng, Wang Ronghua, Song Hong. 2019. Paleosols in Devonian red-beds from northwest China and their paleoclimatic characteristics. Sedimentary Geology, 379: 16~24.
- Gutiérrez S F, Acosta E, Ríos S, Guerrero J, Lucha P. 2005. Geomorphology and geochronology of sackung features (uphill-facing scarps) in the Central Spanish Pyrenees. Geomorphology, 69 (1 ~ 4): 298~314.
- Halupczok D J C, Sánchez M L, Veiga G D, Apesteguía S. 2018. Dinosaur tracks in the Kokorkom desert, Candeleros formation ( Cenomanian, Upper Cretaceous ), Patagonia Argentina: Implications for deformation structures in dune fields. Cretaceous Research, 83: 194~206.
- Hartwig A, Schulz H M. 2010. Applying classical shale gas evaluation concepts to Germany-Part I: The basin and slope deposits of the Stassfurt Carbonate (Ca2, Zechstein, Upper Permian) in Brandenburg. Geochemistry, 70: 77~91.
- Hlila R, Matte A, Sanz De G C, Serra-Kiel J, Serrano F, El Kadiri K. 2007. La serie paleógena de la unidad superior del Gomúride en Talembote (Rif Interno, Marruecos). Geogaceta, 43: 91~94.
- Holz M, Vieira P E, Kalkreuth W. 2000. The Early Permian coalbearing succession of the Paraná Basin in southernmost Brazil: depositional model and sequence stratigraphy. Brazilian Journal of Geology, 30(3): 424~426.
- Hu Junjie, Li Qi, Fang Niaoqiao, Yang Jingyi, Ge Dongsheng. 2015. Geochemistry characteristics of the Low Permian sedimentary rocks from central uplift zone, Qiangtang Basin, Tibet: insights into source – area weathering, provenance, recycling, and tectonic setting. Arabian Journal of Geosciences, 8(8): 5373~5388.
- Izart A, Barbarand J, Michels R, Privalov V A. 2016. Modelling of the thermal history of the Carboniferous Lorraine Coal Basin: Consequences for coal bed methane. International Journal of Coal Geology, 168: 253~274.
- Jasper A, Menegat R, Guerra S M, Cazzulo-Klepzig M, De Souza P A. 2006. Depositional cyclicity and paleoecological variability in an outcrop of Rio Bonito formation, Early Permian, Paraná Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. Journal of South American Earth Sciences, 21(3): 276~293.
- Kabanov P B, Alekseeva T V, Alekseeva V A, Alekseev A O, Gubin S V. 2010. Paleosols in Late Moscovian (Carboniferous) marine carbonates of the East European craton revealing "Great calcimagnesian plain" paleolandscapes. Journal of Sedimentary Research, 80(3): 195~215.
- Kahmann J A, Driese S G. 2008. Paleopedology and geochemistry of Late Mississippian (Chesterian) Pennington Formation paleosols at Pound Gap, Kentucky, USA: Implications for high – frequency climate variations. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 259 (4): 357~381.
- Kallmeier E, Breitkreuz C, Kiersnowski H, Geißler M. 2010. Issues associated with the distinction between climatic and tectonic controls on Permian alluvial fan deposits from the Kotzen and Barnim Basins (North German Basin). Sedimentary Geology, 223(1~2): 15~3.
- Karakitsios V, Pomoni P F. 1998. Sedimentological study of the Triassic solution - collapse breccias of the Ionian zone (NW Greece). Carbonates and Evaporites, 13(2): 207~218.
- Khalifa M. 2005. Lithofacies, diagenesis and cyclicity of the 'lower member' of the Khuff formation (Late Permian), Al Qasim Province, Saudi Arabia. Journal of Asian Earth Sciences, 25(5): 719~734.
- Khaziev R R, Krinari G A, Nurgalieva N G, Batalin G A, Gareev B I.

2016. The Permian Clayey Sediments Genesis by XRF Data on the Reference Section (Volga River, Russia). Indian Journal of Science and Technology, 9(48): 1~5.

- Kolchugin A N, Korolev E A, Eskin A A, Barieva E R. 2018. Signs of paleosoil formation in bashkirian carbonate rocks of Volga – Ural region. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, 18(3): 1191~1196.
- Konyukhov A I, Baimagambetov B K, Kan A. 2006. The eastern flank of the Caspian Basin: Sedimentary complexes and sedimentation conditions in the Early–Middle Carboniferous. Lithology and Mineral Resources, 41(6): 530~546.
- Korzhenkov A M, KolChenko V A, Luzhanskiy D V, Rogozhin E A, Kazmer M, Mazeika J V, Deev E V, Fortuna A B, Shen J, Yudakhin A S. 2016. Archeoseismological investigation of the Kurmenty medieval settlement site, northeastern Issyk-Kul region, Kyrgyzstan. Seismic Instruments, 52(2): 154~163.
- Kuleshov V N, Arefiev M P, Pokrovsky B G. 2019. Isotope characteristics (δ<sup>13</sup>C, δ<sup>18</sup>O) of continental carbonates from Permian –Triassic rocks in the Northeastern Russian Plate: Paleoclimatic and biotic reasons and chemostratigraphy. Lithology and Mineral Resources, 54(6): 489~510.
- Liberato G P, Cornamusini G, Perotti M, Sandroni S, Talarico F M. 2017. Stratigraphy of a Permian – Triassic fluvial – dominated succession in Southern Victoria Land (Antarctica): preliminary data. Journal of Mediterranean Earth Sciences, 9: 167~171.
- Long Xiaoping, Yuan Chao, Sun Min, Xiao Wenjiao, Wang Yujing, Cai Keda, Jiang Yingde. 2012. Geochemistry and Nd isotopic composition of the Early Paleozoic flysch sequence in the Chinese Altai, Central Asia: evidence for a northward-derived mafic source and insight into Nd model ages in accretionary orogen. Gondwana Research, 22(2): 554~566.
- Mader D. 1981. Genesis of the buntsandstein (lower triassic) in the Western Eifel (Germany). Sedimentary Geology, 29(1): 1~30.
- Martín S A, Nozal M A F. 2009. Fluvial network, raña deposits and appalachian relief of the Iberian Massif. Spanish Geological Frameworks and Geosites, Instituto Geológicoy Minerode España: 184~191.
- Mccann T, Pascal C, Timmerman M J, Krzywiec P, Lopez-Gomez J, Wetzel L, Krawczyk C M, Rieke H, Lamarche J. 2006. Post-Variscan (end Carboniferous-Early Permian) basin evolution in western and central Europe. Geological Society, 32(1): 355~388.
- Méndez B I, Gallastegui G, Busquets P, Cesari S N, Limarino C O, Prats E, Cardó R, Colombo P F. 2020. Pedogenic and subaerial exposure microfabrics in a late Carboniferous – early Permian carbonate – volcanic lacustrine – palustrine system (San Ignacio Formation, Frontal Cordillera, Argentina). Andean Geology, 47 (2): 275~294.
- Michel L A, Taboe N J, Montañez I P, Schmitz M D, Davydov V I. 2015. Chronostratigraphy and paleoclimatology of the Lodève Basin, France: evidence for a pan – tropical aridification event across the Carboniferous – Permian boundary. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 430: 118~131.
- Mintz J S, Driese S G, White J D. 2010. Environmental and ecological variability of middle Devonian (Givetian) forests in Appalachian basin paleosols, New York, United States. Palaios, 25(2): 85 ~ 96.
- Mosseichik Y V, Ryabinkina N N. 2009. New data on fossil flora from the Visean terrigenous complex of Pechora basin. Doklady Earth Sciences: Springer Nature BV.
- Naitza S, Sandro F, Maddalena F, Roberto P, Francesco S. 2019. The

metallogenic potential of an old European mining region: the case of Sardinia (Italy). 15th biennial SGA meeting: Society for Geology Applied to Mineral Deposits, 4: 1~15.

- Narkiewicz M, Retallack G J. 2014. Dolomitic paleosols in the lagoonal tetrapod track – bearing succession of the Holy Cross Mountains (Middle Devonian, Poland). Sedimentary Geology, 299: 74~87.
- Naugolnykh S V. 2016. Palaeobotrychium gen. nov., the first discovery of an ophioglossalean fern from the Middle Carboniferous deposits of Russia. Wulfenia, 23: 147~161.
- Ohar V. 2021. Carboniferous fauna from erratics in the Hradyzk area (Poltava region, Ukraine): paleo - ice streams indicator of the Dnipro glacial maximum. Historical Biology, 33(1): 78~87.
- Ovsyuchenko A N, Butanaev Y V, Marakhanov A V, Larkov A S, Novikov S S, Kuzhuget K S. 2017. Recurrence of strong seismic events in the area of the 2011-2012 Tuva earthquakes according to paleoseismological data. Russian Geology and Geophysics, 58(11): 1417~1425.
- Peng Yuan, Zhang Yongsheng, Sun Jiaopeng, Xing Enyuan, Yu Huatai. 2018. Geochemistry of Late Carboniferous sedimentary rocks from the Zongwulong structural belt and adjacent areas, Qaidam Basin, China: Implications for provenance and tectonic setting. Geosciences Journal, 22(2): 287~301.
- Plekhanova L N. 2017. Searching for benchmark soils in the steppe zone of the Trans-Ural Plateau to compile the Red Book of Soils. Arid Ecosystems, 7(3): 171~177.
- Rachlewicz G. 2007. Petuniabukta: from glacial to paraglacial processes in Ebbadalen-Leader Grzegorz Rachlewicz. Landform Analysis, 5: 209~211.
- Ramos V A. 1988. Late Proterozoic-early Paleozoic of South America-a collisional history. Episodes Journal of International Geoscience, 11 (3): 168~174.
- Retallack G J, Huang Chengmin. 2011. Ecology and evolution of Devonian trees in New York, USA. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 299(1~2): 110~128.
- Ricardi B F. 2008. Venezuelan paleoflora of the Pennsylvanian-Early Permian: Paleobiogeographical relationships to central and western equatorial Pangea. Gondwana Research, 14(3): 297~305.
- Richard Z D, Pollard D, Kump L R, White T S. 2017. Anomalously Low δ180 Values of High-Latitude Permo-Triassic Paleosol Siderite. Palaeogeography, Palaeoclimatology, palaeoecology, 492: 26~40.
- Ricordel P C, Lagroix F, Moreau M G, Thiry M. 2010. Lateritic paleoweathering profiles in French Massif Central: paleomagnetic datings. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 115(B10).
- Rixhon G, Braucher R, Bourlès D, Siame L, Bovy B, Demoulin A. 2011. Quaternary river incision in NE Ardennes (Belgium) Insights from 10Be/26Al dating of river terraces. Quaternary Geochronology, 6(2): 273~284.
- Rogozhin E A, Rodina S N. 2012. Paleoseismic studies and the longterm seismic regime in the North of Sakhalin Island. Seismic Instruments, 48(4): 333~341.
- Sauer D, Felix-Henningsen P. 2006. Saprolite, soils, and sediments in the Rhenish Massif as records of climate and landscape history. Quaternary International, 156: 4~12.
- Sailhac P, Bano M, Behaegel M, Girard J F, Para E F, Ledo J, Marquis G, Matthey P D, Ortega R J. 2009. Characterizing the vadose zone and a perched aquifer near the Vosges ridge at the La Soutte experimental site, Obernai, France. Comptes Rendus Geoscience, 341(10~11): 818~830.
- Sciunnach D, Garzanti E. 1996. Sedimentary record of Late Paleozoic rift and break-up in Northern Gondwana: a case history from the Thini

Chu Group and Tamba-Kurkur Formation (Dolpo Tethys Himalaya, Nepal). Geodinamica Acta, 9(1): 41~56.

- Shumilov I K, Mingalev A N. 2009. First find of paleosoils in the Devonian red deposits of the Middle Timan. Doklady Earth Sciences, 428(2): 225~227.
- Simas M W, Guerra S M, Cazzulo K M, Menegat R, Santos J O, Ferreira J A F, Degani-Schmidt I. 2012. Geochronological correlation of the main coal interval in Brazilian Lower Permian: Radiometric dating of tonstein and calibration of biostratigraphic framework. Journal of South American Earth Sciences, 39: 1~15.
- Song Hong. 2020&. The Clay Minerals Characyeristics of Late Devonian Palaeosol and Their Paleoclimate in Baiyin, Gansu Province. Supervisor: Professor Guo Xuelian. Lanzhou: Master thesis of Lanzhou university: 1~40.
- Song Xieyan, Qi Huawen, Robinso P T, Zhou Meifu, Cao Zhimin, Chen Liemeng. 2008. Melting of the subcontinental lithospheric mantle by the Emeishan mantle plume; evidence from the basal alkaline basalts in Dongchuan, Yunnan, Southwestern China. Lithos, 2008, 100(1 ~4): 93~111.
- Stampfli G M, Vavassis I, De Bono A, Rosselet F, Matti B, Bellini M. 2003. Remnants of the Paleotethys oceanic suture – zone in the western Tethyan area. Stratigraphic and structural evolution on the Late Carboniferous to Triassic continental and marine successions in Tuscany (Italy): Regional reports and general correlation. Bolletino della Società Geologica Italiana, Volume speciale, 2: 1~24.
- Stevaux J C, Barczysczyn O, Medeanic S, De Nóbrega M T. 2006. Characterization and environmental interpretation of a floodplain Holocene paleosoil: Implications for paleohydrological reconstructions in the Upper Paraná River, Brazil. Zeitschrift fur Geomorphologie, Supplementband: 191~206.
- Stworzewicz E, Szulc J, Pokryszko B M. 2009. Late Paleozoic continental gastropods from Poland: Systematic, evolutionary and paleoecological approach. Journal of Paleontology, 83(6): 938~945.
- Szulc J. 2005. Sedimentary environments of the vertebrate-bearing Norian deposits from Krasiejów, Upper Silesia (Poland). Hallesches Jahrbuch der Geowissenschaften, 19: 161~170.
- Tabor N J, Montanez I P, Southard R J. 2002. Paleoenvironmental reconstruction from chemical and isotopic compositions of Permo – Pennsylvanian pedogenic minerals. Geochimica et Cosmochimica Acta, 66(17): 3093~3107.
- Tabor N J, Montañez I P. 2005. Oxygen and hydrogen isotope compositions of Permian pedogenic phyllosilicates: Development of modern surface domain arrays and implications for paleotemperature reconstructions. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 223(1~2): 127~146.
- Tabor N J, Montañez I P, Steiner M B, Schwindt D. 2007. δ13C values of carbonate nodules across the Permian – Triassic boundary in the Karoo Supergroup (South Africa) reflect a stinking sulfurous swamp, not atmospheric CO2. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 252(1~2): 370~381.
- Tedesco A M, Ciccioli P L, Suriano J, Limarino C O. 2010. Changes in the architecture of fluvial deposits in the Paganzo Basin (Upper Paleozoic of San Juan province): an example of sea level and climatic controls on the development of coastal fluvial environments. Geologica acta: 463~482.
- Teixeira B M, Astini R A, Gomez F J, Morales N, Pimentel M M. 2018. Source-to-sink analysis of continental rift sedimentation: Triassic

Cuyo basin, Precordillera Argentina. Sedimentary Geology, 376: 164~184.

- Tófalo O R, Pazos P J. 2010. Paleoclimatic implications (Late Cretaceous – Paleogene) from micromorphology of calcretes, palustrine limestones and silcretes, southern Paraná Basin, Uruguay. Journal of South American Earth Sciences, 29(3): 665~675.
- Újvári G, Klötzli U, Kiraly F, Ntaflos T. 2013. Towards identifying the origin of metamorphic components in Austrian loess: insights from detrital rutile chemistry, thermometry and U – Pb geochronology. Quaternary Science Reviews, 75: 132~142.
- Van Loevezijn G, Raven J G M. 2017. Frasnian carbonate shoals and sequence stratigraphy of the Upper Devonian series from the southern Cantabrian Mountains, northern Spain. Boletín Geológicoy Minero, 128: 931~961.
- Vanstone S D. 1991. Early Carboniferous (Mississippian) Paleosols from Southwest Britain; influence of climatic change on soil development. Journal of Sedimentary Research, 61(4); 445~457.
- Vega R M, Mella M, Nielsen S N, Pino M. 2018. Stratigraphy and sedimentology of a late Pleistocene incised valley fill: a depositional and paleogeographic model for "Cancagua" deposits in north-western Patagonia, Chile. Andean geology, 45(2): 161~185.
- Vincent B, Van Buchem F S P, Bulot L G, Jalali M, Swennen R, Hosseini A S, Baghbani D. 2015. Depositional sequences, diagenesis and structural control of the Albian to Turonian carbonate platform systems in coastal Fars (SW Iran). Marine and Petroleum Geology, 63: 46~67.
- Wang Yue, Li Yu, Zhang Chengqi. 2016. Holocene millennial scale erosion and deposition processes in the middle reaches of inland drainage basins, arid China. Environmental Earth Sciences, 75(6): 1~15.
- Wasielka N. 2021. Controls of reservoir quality in Carboniferous tight gas sandstone. Durham University: 1–30.
- Wu Kongyou, Paton D, Zha Ming. 2013. Unconformity structures controlling stratigraphic reservoirs in the north – west margin of Junggar basin, North – west China. Frontiers of Earth Science, 7 (1): 55~64.
- Wülser P A, Brugger J, Foden J, Pfeifer H R. 2011. The sandstonehosted Beverley uranium deposit, Lake Frome Basin, South Australia: mineralogy, geochemistry, and a time-constrained model for its genesis. Economic Geology, 106(5): 835~867.
- Zavattieri A M, Gutiérrez P R, Ezpeleta M. 2017. Syndesmorion stellatum (Fijalkowska) Foster et Afonin chlorophycean algae and associated microphytoplankton from lacustrine successions of the La Veteada Formation (late Permian), Paganzo Basin, Argentina. Paleoenvironmental interpretations and stratigraphic implications. Review of Palaeobotany and Palynology, 242: 1~20.
- Zhang Peixing, Lu Jing, Yang Mingfan, Shao Longyi, Wang Ziwei, Hilton J. 2021. Low-latitude climate change linked to high-latitude glaciation during the Late Paleozoic Ice Age: evidence from the terrigenous detrital kaolinite. Climate of the Past Discussions: 1 ~ 21.
- Zinke J, Reijmer J J G, Thomassin B. 2001. Seismic architecture and sediment distribution within the Holocene barrier reef-lagoon complex of Mayotte (Comoro archipelago, SW Indian Ocean). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 175 (1 ~ 4): 343~368.