

土壤发育指标与气候因子的关系及辽西地区 古气候重建*

王秋兵 崔东 韩春兰 白晨辉 张寅寅 孙仲秀

(沈阳农业大学土地与环境学院,农业部东北地区土壤与环境重点实验室,辽宁省农业资源与环境重点实验室,沈阳,110866)

摘要 通过对我国现代气候条件下发育的 22 个土壤剖面发育指标的分析,运用相关性分析方法建立了土壤发育指标与气候因子的关系—转换函数,并将之运用于辽宁朝阳凤凰山古土壤剖面古气候参数重建中,得出 71~423 ka BP 以来的古气候参数值:403~423 ka BP 期间年均降雨量为 523.92~574.42 mm,年均温为 10.6~11.0℃;311~403 ka BP 期间年均降雨量为 1 184.6~1 277.2 mm,年均温为 15.6~16.6℃;243~311 ka BP 期间年均降雨量为 517.24~669.08 mm,年均温为 9.18~12.2℃;225~243 ka BP 期间年均降雨量为 1 302.7 mm,年均温为 16.5℃;208~225 ka BP 期间年均降雨量为 642.54~731.42 mm,年均温为 10.1~11.6℃;176~208 ka BP 期间年均降雨量为 1 231.4 mm,年均温为 16.0℃;148~176 ka BP 期间年均降雨量为 640.49~682.09 mm,年均温为 8.49~9.13℃;71~148 ka BP 期间年均降雨量为 1 128.2~1 294.0 mm,年均温为 16.1~16.6℃。辽宁朝阳现今全年平均气温 9℃,年均降水量 450~500 mm,说明该地区 42 万年以来气候有过多次波动,但总的趋势是由温暖湿润向寒冷干旱演化。

关键词 土壤发育指标;转换函数;古气候;辽宁西部地区

中图分类号 S159.2

文献标识码 A

古气候研究的目的归根结底是为预测未来人类生存环境可能发生的变化服务。古气候研究的对象主要有黄土-古土壤序列、冰芯、深海沉积物、石柱、石笋等。形成于第四纪沉积物上的古土壤,因埋藏时间相对较短、受成岩作用影响小、保存较好、分布广、易识别、被广泛而高度地关注,已成为第四纪研究中十分重要的一项内容^[1-2]。古土壤是地质活动历史时期自然环境的产物,记录了当时的母质、气候、生物群落、地形和时间等因素对地表物质所发生的影响^[3]。古土壤中的化学元素在表生环境中具有不同地球化学行为,根据元素含量及相关化学参数可以反映土壤发育程度^[4],从而运用古土壤发育指标可用来重建古气候。Sheldon 等^[5]研究发现,CIA-K 指数 $[CIA-K = Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O)]$ 与区域年降水量(P, mm)存在关系: $P = 221.1e^{0.0197(CIA-K)}$ 。这一关系式已应用于古生代到新生代各时期的古降水量恢复研究^[6-7]。欧阳椿陶

等^[4]对萨拉乌苏河流域 7 个现代褐土剖面的 CIA $[CIA = Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)]$ 与剖面所在区域的现代气温及降水量值作回归分析得出:降水 $y_1 = -1162.9 + 30.248x (x = CIA)$;气温 $y_2 = -120.82 + 32.45 \ln x (x = CIA)$ 。并运用上述关系得出米浪沟湾剖面 5 层古土壤发育时期的水热状况较华北现代的暖温带半湿润季风性气候更加温暖潮湿。

我国对第四纪古土壤研究主要集中在黄土高原^[8-10]以及长江以南地区^[11-13],而东北地区研究较少。辽西地区的朝阳市是东北地区第四纪古土壤分布范围较大的地区,凤凰山古土壤剖面位于朝阳市,韩春兰等^[14]通过对该古土壤剖面序列土壤发育特征研究,得出该剖面成土环境在 423~71 ka BP 间经过多次波动变化。陈辉等^[15]通过凤凰山剖面高密度连续采样,粒度测试分析,将辽西地区古气候变化划分为 8 个阶段:其中 71~148 ka BP、176~

* 国家自然科学基金项目(批准号:40971124、40671079)资助

作者简介:王秋兵(1962—),男,河北邢台人,教授,博士生导师,主要从事土壤地理学、土地资源管理等方面的教学和科研工作。

E-mail: qiubingwangsy@163.com

收稿日期:2012-04-16;收到修改稿日期:

208 ka BP、225 ~ 243 ka BP 和 311 ~ 403 ka BP 阶段为温暖湿润气候;148 ~ 176 ka BP、208 ~ 225 ka BP、243 ~ 311 ka BP 和 403 ~ 423 ka BP 阶段为较寒冷干燥气候。以上对辽西地区古气候研究主要是一些定性的描述,而对于其古降水量与古年均温的定量数值从未做过相关研究。

本文选取分布于我国南北气候带上的发育于第四纪沉积物上的现代土壤,以其土壤发育指标为基础,建立土壤发育指标-气候因子转换函数,旨在以此定量代换指标重建辽宁朝阳凤凰山古土壤剖面古气候因子的数值特征。亦可为定量重建辽西地区第四纪以来古气候工作提供较为可靠的依据。

1 材料与方法

1.1 研究土壤发育指标与气候因子关系的剖面

根据研究目的,选取了福建、江西、浙江、安徽、江苏、湖南、湖北、河南、山东、辽宁、北京 11 个省市为研究区域,在研究区域采集发育于不同气候带上的现代土壤,共采集 22 个剖面。假设 22 个剖面都为现代气候条件下发育而成的。剖面位置选取的原则:采样地形选取为岗地或平稳的台地,不易受地下水和侵蚀的影响。样品母质都为第四纪沉积物。各研究剖面的地理位置及气候状况见表 1。

表 1 采样点地理位置及气候状况

Table 1 Geographic locations and climate conditions of the sampling sites

剖面号 Code of profiles	地点 Location	经纬度 Latitude and longitude	年均温 Mean annual precipitation ($^{\circ}\text{C}$)	年均降雨量 Mean annual temperature (mm)	土壤类型 Soil type
闽-02	福建省漳州市 Zhangzhou City, Fujian Province	23°58'25.1"N 117°20'59.0"E	21.0	1500	赤红壤 Lateritic red soil
闽-01	福建省莆田市 Putian City, Fujian Province	25°29'54.7"N 119°06'36.7"E	19.5	1400	红壤 Red soil
闽-05	福建省三明市 Sanming City, Fujian Province	26°20'15.4"N 117°22'34.2"E	19.2	1700	红壤 Red soil
湘-01	湖南省长沙市 Changsha City, Hunan Province	28° 28'28.7"N 113° 20'59.8"E	17.2	1362	红壤 Red soil
赣-01	江西省鹰潭市 Yingtan City, Jiangxi Province	28°11'51.5"N 116°55'16.0"E	17.6	1789	红壤 Red soil
浙-01	浙江省金华市 Jinhua City, Zhejiang Province	29°02'19.3"N 119°22'12.2"E	17.3	1479	红壤 Red soil
鄂-01	湖北省赤壁市 Chibi City, Hubei Province	29°44'13.3"N 113°55'30.4"E	16.9	1430	红壤 Red soil
皖-03	安徽省宣城市 Xuancheng City, Anhui Province	30°52'07.1"N 118°52'36.1"E	15.6	1350	红壤 Red soil
皖-01	安徽省宣城市 Xuancheng City, Anhui Province	30°52'22.8"N 118°51'52.3"E	15.6	1350	红壤 Red soil
苏-02	江苏省南京市 Nanjiang City, Jiangsu Province	32° 07'34.7" N 118°58' 10.5" E	15.4	1062	黄棕壤 Yellow brown soil
苏-01	江苏省句容市 Jurong City, Jiangsu Province	32°09'22.7"N 119°10'39.6"E	15.4	1272	黄棕壤 Yellow brown soil
鄂-03	湖北省襄阳市 Xiangyang City, Hubei Province	32°10'49.4"N 112°12'41.9"E	15.5	1000	黄棕壤 Yellow brown soil
豫-03	河南省南阳市 Nanyang City, Henan Province	32°56'59.6"N 111°33'33.2"E	15.8	804	黄褐土 Yellow cinnamon soil
豫-09	河南省三门峡市 Sanmenxia City, Henan Province	34°35'12.4"N 111° 14'52.2"E	14.0	595	黄褐土 Yellow cinnamon soil
豫-04	河南省三门峡市 Sanmenxia City, Henan Province	34°06'03.6"N 111°09'31.3"E	12.5	622	黄褐土 Yellow cinnamon soil
豫-06	河南省三门峡市 Sanmenxia City, Henan Province	34°06'15.1"N 110°59'57.4"E	12.5	622	黄褐土 Yellow cinnamon soil
鲁-01	山东省济南市 Jinan City, Shandong Province	36°35'29.6"N 116°59'26.9"E	14.7	671	黄褐土 Yellow cinnamon soil
鲁-02	山东省济南市 Jinan City, Shandong Province	36°26'55"N 116°53'36.2"E	14.7	671	黄褐土 Yellow cinnamon soil
京-01	北京市门头沟区 Mentougou District, Beijing	39°58'47.6"N 115°43'37.1"E	11.0	644	褐土 Cinnamon soil
京-02	北京市怀柔区 Huairou District, Beijing	40°21'57.5"N 116°36'26.7"E	11.0	644	褐土 Cinnamon soil
辽-01	辽宁省沈阳市 Shenyang City, Liaoning Province	41°49'54.9"N 123°34'14.9"E	8.8	695	棕壤 Brown soil
辽-02	辽宁省葫芦岛市 Huludao City, Liaoning Province	41°04'6.0"N 120°49'6.6"E	11.5	500	褐土 Cinnamon soil

注:气象数据来源于中国天气网。各样品点的年均温和年降水量数据为距各点最近气象站 1971 年至 2000 年气象资料的平均值 Note: Meteorological data were cited from China weather network. The date of mean annual precipitation and mean annual temperature of each sample point is average of the meteorological data from the weather stations nearest to respective sampling sites from 1971 to 2000

1.2 研究古气候重建的剖面

凤凰山剖面位于辽宁省朝阳市双塔区凌凤街荒甸子村 (E120°30'20.8", N41°33'09.6"), 是我国黄土分布区的东北部。该区位于北温带大陆性季风气候区, 尽管东南部受海洋暖湿气流影响, 但由于北部蒙古高原的干燥冷空气经常侵入, 形成了半干燥半湿润易干燥地区, 四季分明, 雨热同季, 日照充足, 日温差较大, 降水偏少。从地理位置上看, 该剖面位于辽西低山丘陵区松岭山脉中段凤凰山区的一个封闭较好的山间盆地内, 受外来水流的影响较小, 同时离分水岭较近, 汇水面积较小, 因此古土壤保存相对完整, 在辽宁地区极具代表性。

剖面总厚度 19.85 m, 根据颜色、结构、紧实度和层间接触关系等, 将凤凰山古土壤剖面划分为 10 个土壤地层、41 个土壤发生层。就土壤地层而言, 最上部 108 cm 为现代土壤层 (S₀), 也是风成黄土, 底部以一薄层灰岩砾石层 (7 cm) 与其下伏黄土层 L₁ 呈不整合接触。S₀ 层以下相间分布有 5 个黄土层 (L₁ ~ L₅) 和 4 个红土层 (S₁ ~ S₄) (图 1)。供试土壤样品按土壤发生层采集^[9]。

1.3 样品采集与分析

所有样品均按照土壤发生层次采样, 样品采集同时进行野外形态描述。样品在室内风干, 研磨后过 0.25 mm 和 0.149 mm 孔径的筛子, 备用。

矿质全量元素组成的测定采用碳酸锂-硼酸熔融-等离子发射光谱法, 其中, 钾、钠的测定采用火焰光度法。游离氧化铁的测定采用柠檬酸钠-连二亚硫酸钠-重碳酸钠浸提, 邻菲罗啉比色法。活性氧化铁的测定采用酸性草酸铵浸提, 邻菲罗啉比色法。

土壤发育指标的计算: 铁的游离度 (%) = 游离铁含量 (Fed)/全铁含量 (Fet); 铁的活化度 (%) = 活性铁含量 (Feo)/游离铁含量 (Fed); 硅铝率 Sa = SiO₂/Al₂O₃; 硅铁铝率 Saf = SiO₂/(Al₂O₃ + Fe₂O₃); 风化淋溶系数 ba = (K₂O + Na₂O + CaO + MgO)/Al₂O₃; 化学蚀变指数 CIA = Al₂O₃/(Al₂O₃ + CaO + Na₂O + K₂O) × 100; CIA-K = Al₂O₃/(Al₂O₃ + CaO + Na₂O) × 100; 盐基指数 = (K₂O + Na₂O)/Al₂O₃; 钾钠比 = K₂O/Na₂O; 铝钠比 = Al₂O₃/Na₂O; 锰铝比 = MnO/Al₂O₃; 钙铝比 = CaO/Al₂O₃。

数据分析采用 SPSS 软件与 Excel 完成。

2 结果与讨论

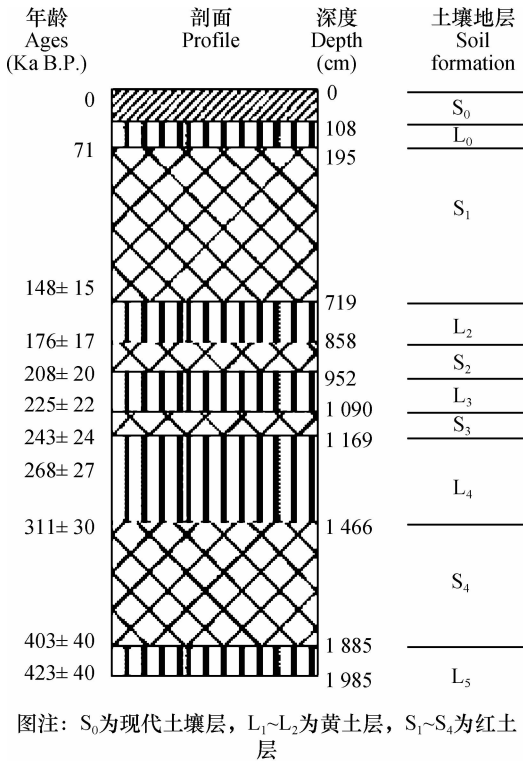
2.1 土壤发育指标与气候因子的相关性分析

选取各土壤剖面 B 层理化性质数据与剖面所在地现今气候因子 (年均降雨量、年均温) 建立相关性分析。分析结果如表 2、表 3 所示。

表 2、表 3 中可以看出, 在 n = 22, p = 0.01, 年降雨量与 ba 值、CIA、CIA-K、CaO/Al₂O₃、(K₂O + Na₂O)/Al₂O₃、铁游离度这些发育指标有极显著的相关性, 其中化学蚀变指数 CIA 与年降雨量的相关系数 R = 0.83, 为最大值。

表 4、表 5 中可以看出, 在 n = 22, p = 0.05, 年均温与 Sa 值、Saf 值、ba 值、CIA、CIA-K、CaO/Al₂O₃、(K₂O + Na₂O)/Al₂O₃、铁游离度这些发育指标有显著的相关性, 在这些有显著相关性的指标中除 Saf 值外, 其余指标在 p = 0.01, 与年均温都是极显著相关性。其中, (K₂O + Na₂O)/Al₂O₃ 与年均温的相关系数 R = 0.70, 为最大值。

从上表可以得出, 化学蚀变指数 CIA 与年降雨量的相关性最大, (K₂O + Na₂O)/Al₂O₃ 与年均温的相关性最大。



图注: S₀为现代土壤层, L₁~L₂为黄土层, S₁~S₄为红土层
 Note: S₀ expresses the layer of modern soil, L₁~L₅ expresses the different layer of loess and S₁~S₄ expresses the different layer of red soil, respectively

图 1 辽宁省朝阳市凤凰山古土壤剖面层次划分及年代
 Fig. 1 Dating and Stratigraphical Division of the Paleosol Profiles in Fenghuang Mountain in Chaoyang

表 2 年均降雨量与土壤发育指标的相关性分析表

Table 2 Correlation analysis of mean annual precipitation with soil-developing indices

项目 Project	Sa	Saf	ba	CIA	CIA-k	K ₂ O/Na ₂ O
年均降雨量 Mean annual precipitation	-0.31	-0.28	-0.76 **	0.83 **	0.79 **	-0.35

表 3 年均降雨量与土壤发育指标的相关性分析表

Table 3 Correlation analysis of mean annual precipitation with soil-developing indices

项目 Project	Al ₂ O ₃ /Na ₂ O	MnO/Al ₂ O ₃	CaO/Al ₂ O ₃	(K ₂ O + Na ₂ O)/Al ₂ O ₃	Fed/Fet	Feo/Fed
年均降雨量 Mean annual precipitation	-0.26	-0.40	-0.61 **	-0.71 **	0.72 **	-0.11

注: * 代表显著相关性, ** 代表极显著相关性, $n=22$ Note: * stands for significant correlation, ** for highly significant correlation, and $n=22$

表 4 年均温与发育指标的相关性分析表

Table 4 Correlation analysis of mean annual temperature with soil-developing indices

项目 Project	Sa	Saf	ba	CIA	CIA-k	K ₂ O/Na ₂ O
年均温 Mean annual temperature	-0.54 **	-0.52 *	-0.69 **	0.68 **	0.69 **	-0.25

表 5 年均温与发育指标的相关性分析表

Table 5 Correlation analysis of mean annual temperature with soil-developing indices

项目 (Project)	Al ₂ O ₃ /Na ₂ O	MnO/Al ₂ O ₃	CaO/Al ₂ O ₃	(K ₂ O + Na ₂ O)/Al ₂ O ₃	Fed/Fet	Feo/Fed
年均温 Mean annual temperature)	-0.16	-0.38	-0.56 **	0.70 **	0.66 **	-0.31

注: * 代表显著相关性, ** 代表极显著相关性, $n=22$ Note: * stands for significant correlation, ** for highly significant correlation, and $n=22$

2.2 土壤发育指标与气候因子的转换关系函数

笔者用直线回归、双曲线回归、指数回归、幂回归、对数回归、生长函数回归、曲线回归、多项式回归等多种回归方法,分别对 CIA、(K₂O + Na₂O)/Al₂O₃与年均温、年均降水量进行回归检验,分别从中选取相关系数最大的作为转换函数,回归方程如下所示:

$$P = 26.472(CIA) - 837.92, (n = 22, R^2 = 0.6806);$$

$$T = -21.419[(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3] + 20.507, (n = 22, R^2 = 0.4898)$$

式中, P 为年均降雨量; T 年均温; CIA 为化学蚀变指数。

图 2 和图 3 分别为 B 层土壤样品 CIA 值、(K₂O + Na₂O)/Al₂O₃与相应的年均温、年均降水量的对应分布图及回归方程拟合曲线,可以看出,年均降水量随 CIA 值增高而增高。年均温随 (K₂O + Na₂O)/Al₂O₃的增高而降低。为了验证模型的准确性,分别计算了表 1 种各样品采样点的年均降水量和年均温度(图 4, 图 5)。

由图中可以看出,计算的结果与表 1 中各采样点气象观测的实测值具有很好的 consistency, 说明该模型在一定范围内具有很好的适用性。

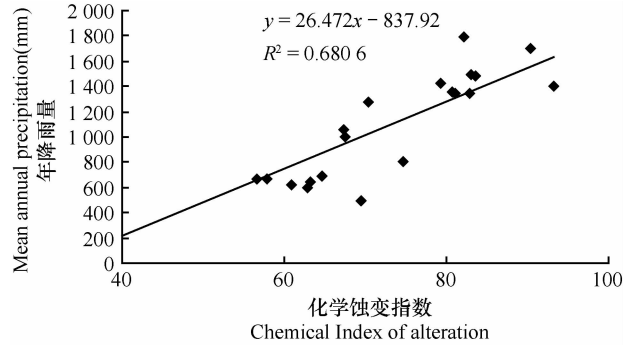


图 2 土壤发育指标与年均降雨量的转换函数

Fig. 2 Relationship between mean annual precipitation and soil-developing indices

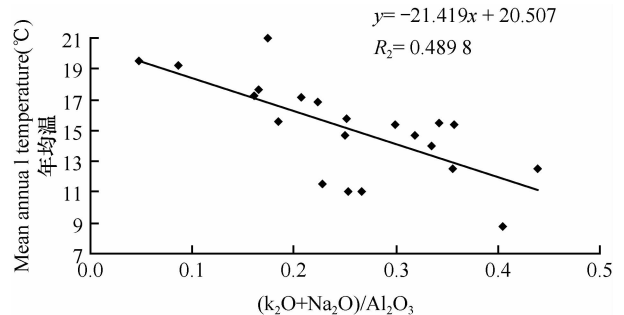


图 3 土壤发育指标与年均温的转换函数

Fig. 3 Relationship between mean annual temperature and soil-developing indices

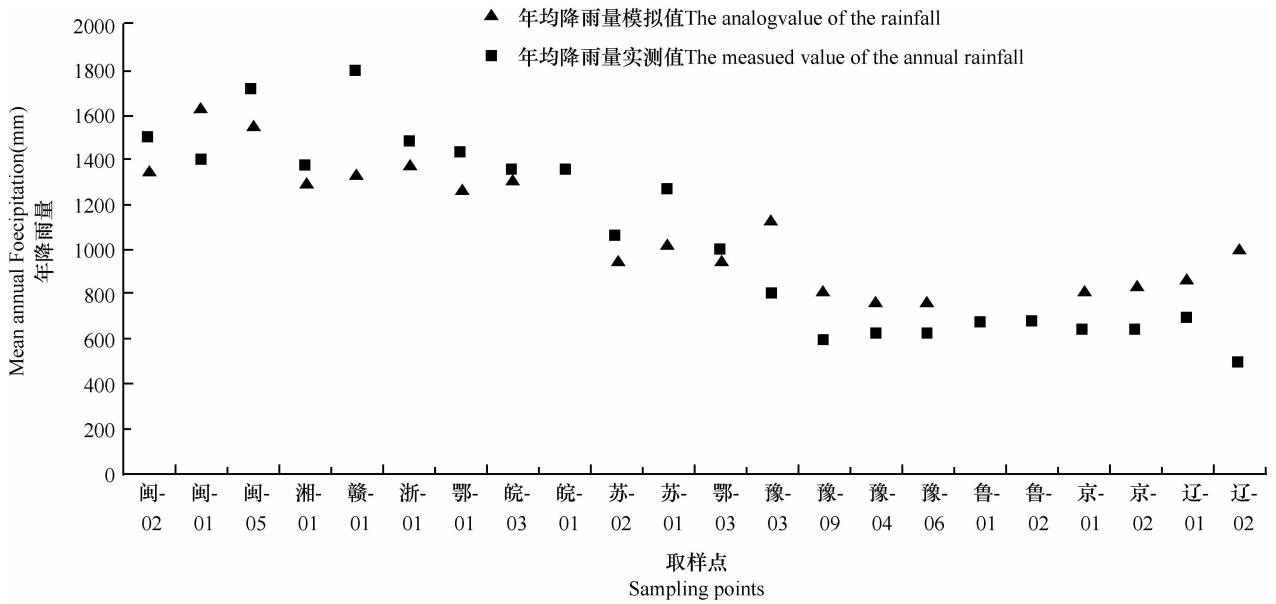


图4 采样点的年降雨量观测值与模拟值的比较

Fig. 4 Observed value and simulated value of mean annual precipitation at of each sampling point

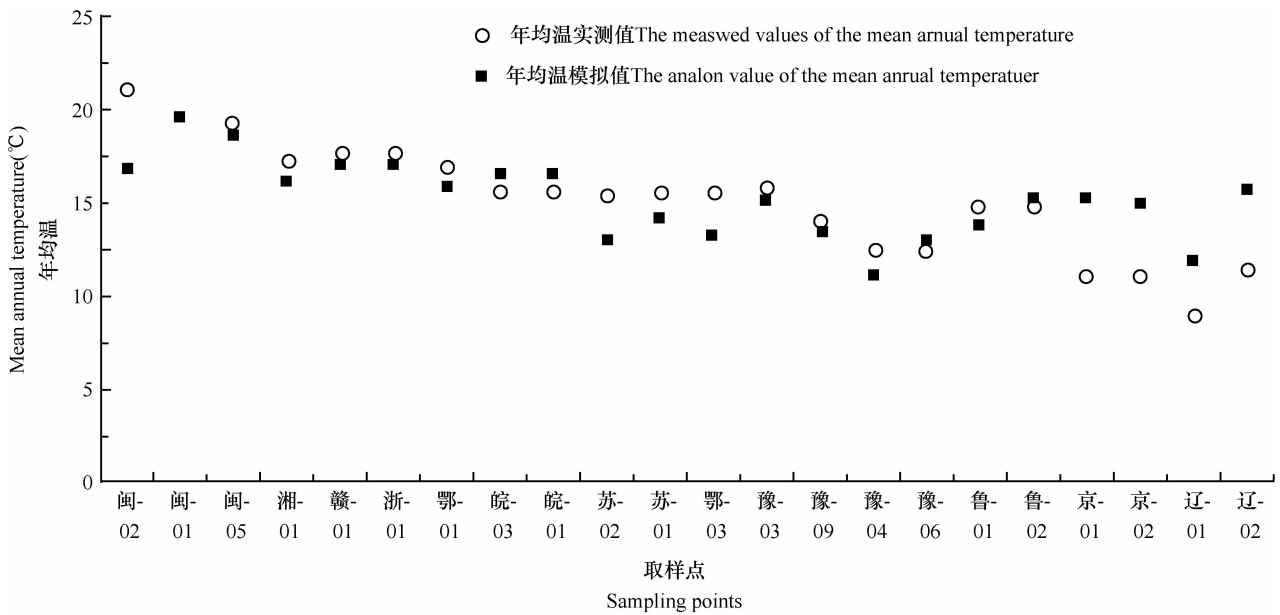


图5 采样点的年均温的观测值与模拟值的比较

Fig. 5 Observed value and simulated value of mean annual temperature at each sampling point

2.3 古降水量、古温度的恢复

利用上述转换函数,对辽宁省朝阳市凤凰山古土壤剖面 42 万年以来的 41 个土壤发生层次样品的 CIA、 $(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3$ 进行计算(期中凤凰山大剖面 2.28 m 以上存在明显的流水作用的痕迹,沉积环境较复杂。本文重点研究部分为 2.28 m 以下由风力沉积所形成相间分布的 4 层古土壤层和 4 层黄土层剖面),得出相应的古降水量、古温度的平均值(表 6)。

2.4 与辽西地区前期古气候研究结果的比较

陈辉等^[15]通过分析辽西朝阳凤凰山古土壤剖面样品不同粒度组分的古气候意义,得出辽西地区古气候变化可划分为 8 个阶段,71 ~ 148 ka BP,176 ~ 208 ka BP,225 ~ 243 ka BP 和 311 ~ 403 ka BP 阶段为温暖湿润阶段;148 ~ 176 ka BP,208 ~ 225 ka BP,243 ~ 311 ka BP 和 403 ~ 423 ka BP 阶段为寒冷干燥阶段。并且这 8 个阶段可与深海氧同位素曲线

表 6 辽宁省朝阳市凤凰山古土壤剖面年均降水量、年均温

Table 6 Mean annual precipitations and mean annual temperatures at the paleosol profiles in Fenghuang Mountain

地层 Stratigraphical division	年代 Age(ka BP)	深度 Depth(cm)	CIA	$(K_2O + Na_2O)/$ Al_2O_3	年均降水量 Mean annual precipitation(mm)	年均温度 Mean annual temperature($^{\circ}C$)
S0		0 ~ 21	52.99	0.56	564.7	8.8
		21 ~ 42	54.35	0.54	600.9	8.9
L1	0 ~ 71	42 ~ 62	54.82	0.55	613.2	8.7
		62 ~ 101	53.25	0.52	571.8	9.3
		101 ~ 136	53.13	0.55	568.6	8.6
		136 ~ 195	50.35	0.55	494.8	8.7
S1	71 ~ 148	195 ~ 228	75.20	0.20	1152.8	16.3
		228 ~ 301	74.27	0.20	1128.2	16.3
		301 ~ 391	78.44	0.18	1238.6	16.5
		391 ~ 462	78.35	0.19	1236.0	16.4
		462 ~ 587	80.54	0.18	1294.0	16.6
L2	148 ~ 176	587 ~ 690	78.28	0.20	1234.4	16.2
		690 ~ 719	78.12	0.20	1230.0	16.1
S2	176 ~ 208	719 ~ 746	55.85	0.56	640.5	8.5
		746 ~ 858	57.42	0.53	682.1	9.1
L3	208 ~ 225	858 ~ 952	78.17	0.21	1231.4	16.1
		952 ~ 971	57.29	0.46	678.6	10.7
S3	225 ~ 243	971 ~ 1061	55.93	0.48	642.5	10.1
		1061 ~ 1090	59.28	0.42	731.4	11.6
L4	243 ~ 311	1090 ~ 1169	80.86	0.18	1302.7	16.5
		1169 ~ 1192	56.93	0.39	669.1	12.2
		1192 ~ 1214	53.23	0.48	571.1	10.2
		1214 ~ 1236	51.94	0.51	537.1	9.6
		1236 ~ 1259	52.32	0.48	547.2	10.2
		1259 ~ 1308	51.75	0.50	532.0	9.7
		1308 ~ 1367	51.53	0.52	526.2	9.4
		1367 ~ 1389	52.26	0.50	545.5	9.8
		1389 ~ 1410	51.19	0.53	517.2	9.2
		1410 ~ 1431	51.43	0.52	523.5	9.4
S4	311 ~ 403	1431 ~ 1466	52.92	0.46	563.1	10.5
		1466 ~ 1526	77.36	0.21	1209.9	16.0
		1526 ~ 1556	79.48	0.19	1266.1	16.5
		1556 ~ 1612	79.90	0.18	1277.2	16.6
		1612 ~ 1643	79.77	0.20	1273.7	16.3
		1643 ~ 1715	76.63	0.22	1190.6	15.8
		1715 ~ 1765	79.74	0.19	1273.0	16.4
		1765 ~ 1846	77.89	0.21	1224.0	15.9
L5	403 ~ 423	1846 ~ 1885	76.40	0.23	1184.6	15.7
		1885 ~ 1927	53.35	0.45	574.4	10.9
		1927 ~ 1948	51.44	0.44	523.9	11.1
		1948 ~ 1985	51.96	0.46	537.5	10.6

MIS5 ~ MIS12 的 8 个阶段相对应。本研究所得出的辽西地区古气候重建数据特征与前人^[15]所描绘的 4 个暖湿与 4 个冷干阶段相一致,与前期对凤凰山古土壤剖面研究所得结论一致。

2.5 与洛川和北京地区黄土剖面研究结果的比较

从图 6a 中年平均气温与年平均降水量曲线变化特点来看,年平均气温与年平均降水量曲线都可以明显的分为 8 个阶段:4 个年平均气温与年平均降

水量变化的峰值与 4 个年平均气温与年平均降水量变化的谷值,即:4 个暖湿阶段与 4 个冷干阶段。暖湿阶段:年平均降水量变化范围为 1 100 ~ 1 300 mm 左右,年平均气温变化范围为 15 ~ 16℃;冷干阶段:年平均降水量变化范围为 500 ~ 700 mm 左右,年平均气温变化范围为 8 ~ 12℃左右。暖湿阶段对应于辽宁朝阳凤凰山古土壤剖面的 S₁、S₂、S₃、S₄层,冷干阶段对应于辽宁朝阳凤凰山古土壤剖面的 L₂、L₃、

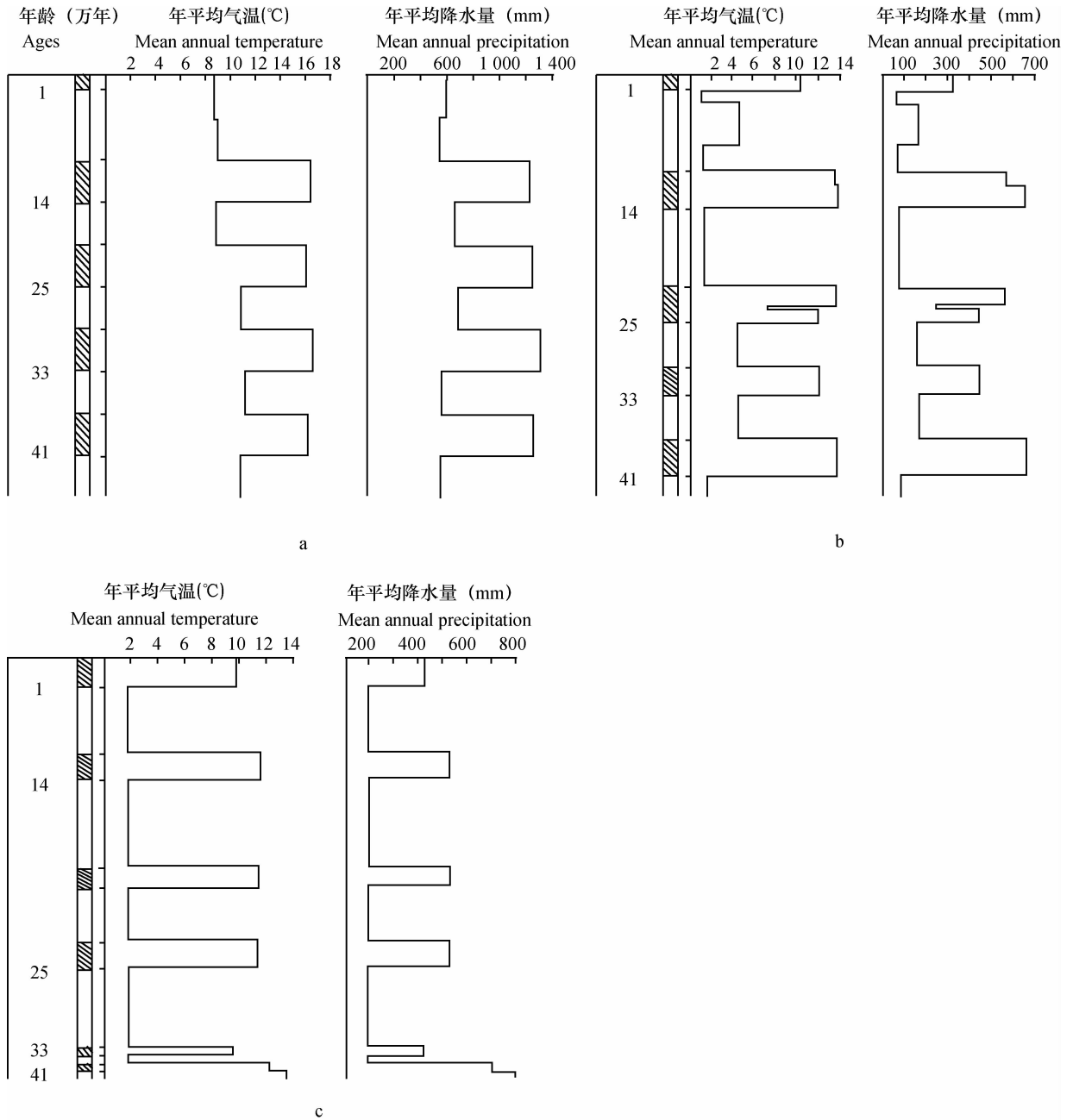


图 6 辽宁地区 42 万年以来年平均气温、年平均降水量(a)与洛川地区年平均气温、年平均降水量(b)^[3]和北京地区年平均气温、年平均降水量变化比较(c)^[16]

Fig. 6 mean annual temperatures and mean annual precipitations of the past 420,000 years in Liaoning Province (a) in Luochuan area(b)^[3] and in Beijing(c)^[16]

L₄、L₅层,与在暖湿气候条件下发育红土层,冷干气候条件下发育黄土层也都是相吻合的。图 6b 中暖湿阶段年平均降水量变化范围为 500 ~ 700 mm 左右,年平均气温变化范围为 10 ~ 14℃;冷干阶段年平均降水量变化范围为 100 ~ 200 mm 左右,年平均气温变化范围为 2 ~ 6℃。图 6c 中暖湿阶段年平均降水量变化范围为 400 ~ 600 mm 左右,年平均气温变化范围为 10 ~ 12℃;冷干阶段年平均降水量变化范围为 200 ~ 300 mm 左右,年平均气温变化范围为 2 ~ 3℃。虽然图 6b 和图 6c 中年平均降水量和年平均气温的数值与图 6a 中不完全相同,但是图 6a 辽西地区与图 6b 洛川地区和图 6c 北京地区气候要素变化趋势基本一致。没有达到完全一致的原因可能是 22 个剖面中的个别剖面 B 层土壤并非完全是现代气候条件下的产物,有可能也是古土壤。

辽西地区现今年平均气温 9℃,年平均降水量 450 ~ 500 mm,与图 8a 中的年平均气温与年平均降水量比较可知,辽西地区现在的气候较 42 万年前要干旱和冷凉些。虽然不能由此认为辽西地区的气候愈加趋于干旱,但是,总体看来,干冷成分在增加,并且变动的频率在加快。这可能与晚第三纪以来青藏高原的隆起^[17],西部高大山脉的上升^[18]所导致的大气环流的改变有关。

3 结 论

1) 土壤发育指标 CIA 与年降雨量呈正相关性、 $(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3$ 与年均温呈负相关性,通过建立数学模型,土壤发育指标 CIA、 $(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3$ 可以用来定量重建辽西地区 42 万年以来古降水量与古气温。

2) 辽西地区古气候变迁受全球气候变化的影响,总体上表现出全球性的特征。辽西地区 42 万年以来经历了 8 次温湿、干冷的气候波动。暖湿阶段:71 ~ 148 ka BP 年均降雨量为 1 128.2 ~ 1 294.0 mm,年均温为 16.1 ~ 16.6℃;176 ~ 208 ka BP 年均降雨量为 1 231.4 mm,年均温为 16.0℃;225 ~ 243 ka BP 年均降雨量为 1 302.7 mm,年均温为 16.5℃;311 ~ 403 ka BP 年均降雨量为 1 184.6 ~ 1 277.2 mm,年均温为 15.6 ~ 16.6℃。冷干阶段:148 ~ 176 ka BP 年均降雨量为 640.49 ~ 682.09 mm,年均温为 8.49 ~ 9.13℃;208 ~ 225 ka BP 年均降雨量为 642.54 ~ 731.42 mm,年均温为 10.1 ~ 11.6℃;243 ~ 311 ka BP 年均降雨量为 517.24 ~ 669.08 mm,年均温为 9.18 ~

12.2℃;403 ~ 423 ka BP 年均降雨量为 523.92 ~ 574.42 mm,年均温 10.6 ~ 11.0℃。

参 考 文 献

- [1] 龚子同,陈鸿昭,刘良梧. 中国古土壤与第四纪环境. 土壤学报,1989,26(4): 379—387. Gong Z T, Chen H Z, Liu L W. Paleosols and quaternary environment in China (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1989, 26(4): 379—387
- [2] 黄成敏,王成善. 晚第三纪以前形成古土壤的鉴别分类及其在古环境研究中的应用. 地球科学进展,2006,21(9): 911—917. Huang C M, Wang C S. Identification, classification and application in paleoenvironment research of Pre-Neogene paleosols (In Chinese). Advances in Earth Science, 2006, 21(9): 911—917
- [3] 刘东生. 黄土和环境. 北京: 科学出版社, 1985: 277—278. Liu D S. Loess and the Environment (In Chinese). Beijing: Science Press, 1985: 277—278
- [4] 欧阳椿陶,李保生,欧先交,等. 萨拉乌苏河流域末次间冰期古土壤化学风化与古气候. 地理学报,2007,62(5): 518—528. Ou Yang C T, Li B S, Ou X J, et al. Chemical weathering of the Milanggouwan paleosols in the Salawusu river valley and their paleoclimatic implication during the last interglacial period (In Chinese). Acta Geographica Sinica, 2007, 62(5): 518—528
- [5] Sheldon N D, Retallack G J, Tanaka S. Geochemical climofunctions from North American soils and application to paleosols across the Eocene-Oligocene boundary in Oregon. Journal of Geology, 2002, 110: 687—696
- [6] Retallack G J, Huang C M. Depth to gypsic horizon as a proxy for paleoprecipitation in paleosols of sedimentary environments. Geology, 2010, 38(5): 403—406
- [7] Krausm J, Riggins S. Transient drying during the Paleocene-Eocene Thermal Maximum (PETM): Analysis of paleosols in the bighorn basin, Wyoming. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 2007, 245: 444—461.
- [8] 朱显谟. 我国黄土性沉积物中的古土壤. 中国第四纪研究, 1965, 4(1): 7—19. Zhu X M. The paleosols in loess deposits of China (In Chinese). Quaternary Sciences, 1965, 4(1): 7—19
- [9] 唐克丽,贺秀斌. 第四纪黄土剖面多元古土壤形成发育信息的揭示. 土壤学报, 2002, 39(5): 609—617. Tang K L, He X B. Revelation of information an genesis of multi paleosol from quaternary loess profile (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(5): 609—617
- [10] 胡雪峰,鹿化煜. 黄土高原古土壤成土过程的特异性及发生学意义. 土壤学报, 2004, 41(5): 669—675. Hu X F, Lu H Y. Peculiarities in soil-forming processes of paleosols in the loess plateau and their pedogenic implication (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(5): 669—675
- [11] 刘良梧,龚子同. 宣城第四纪红色粘土剖面的发育特征. 第四纪研究, 2000, 20(5): 464—468. Liu L W, Gong Z T. Characteristics of development of quaternary red clay in Xuancheng, Anhui Province (In Chinese). Quaternary Sciences, 2000, 20(5): 464—468

- [12] 熊尚发,刘东生,丁仲礼.南方红土的剖面风化特征.山地学报,2000,18(1):7—12. Xiong S F, Liu D S, Ding Z L. The weathering sequence of the red earth over southern China(In Chinese). Journal of Mountain Science,2000,18(1):7—12
- [13] 胡雪峰,龚子同.江西九江泰和第四纪红土成因的比较研究.土壤学报,2001,38(1):1—9. Hu X F, Gong Z T. Comparative study on the origin of quaternary red earth in Jiujiang and Taihe, Jiangxi Province(In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2001,38(1):1—9
- [14] 韩春兰,王秋兵,郭月,等.辽宁朝阳凤凰山剖面古土壤序列土壤发育特征研究.土壤通报,2010,41(6):1281—1287. Han C L, Wang Q B, Guo Y, et al. A study on the genetic features of a paleosol sequence at Fenghuang mountain in Chaoyang, Liaoning Province(In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2010,41(6):1281—1287
- [15] 陈辉,王秋兵,韩春兰.辽宁朝阳凤凰山古土壤序列粒度特征与古气候变化.高校地质学报,2009,15(4):563—568. Chen H, Wang Q B, Han C L. Grain-size characteristics and climatic changes of a paleosol sequence at Fenghuang mountain in Chaoyang, Liaoning Province(In Chinese). Geological Journal of China Universities, 2009,15(4):563—568
- [16] 陈焕伟.从古土壤看北京环境变迁.土壤学报,2000,37(3):306—315. Chen H W. Research on the variance of environment in Beijing by paleosols(In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2000,37(3):306—315
- [17] 李吉均,文世宣,张青松,等.青藏高原隆起的时代、幅度和形式的探讨.中国科学,1979,6:608—616. Li J J, Wen S X, Zhang Q S, et al. Discussion on the age, amplitude and form of the Qinghai-Tibet uplifting(In Chinese). Science in China, 1979,6:608—616
- [18] 杨怀仁,徐馨.中国东部第四纪自然环境的演变.南京大学学报:自然科学版,1980,1:121—144. Yang H R, Xu X. Quaternary environmental changes in eastern China(In Chinese). Journal of Nanjing University: Natural Science, 1980,1:121—144

RELATIONSHIP BETWEEN SOIL-DEVELOPING INDICATORS AND CLIMATE FACTORS AND RECONSTRUCTION OF PALEOCLIMATE IN THE WESTERN AREA, LIAONING PROVINCE

Wang Qiubing Cui Dong Han Chunlan Bai Chenhui Zhang Yinyin Sun Zhongxiu

(College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, The Ministry of Agriculture in Northeast Area, Laboratory of soil and Environment, Liaoning Province Key Laboratory of Agricultural Resources and Environment, Shenyang 110866, China)

Abstract Through analysis of the 22 soil profile development indices of the soils developed under the modern climatic conditions of China and then correlation analysis, transfer functions were established between soil development indices and climate factors and used in reconstructing paleoclimatic parameters of the paleosol profiles in the Fenghuang Mountain of Chaoyang, Liaoning Province. The following paleoclimatic parameters of the past 71 ~ 423 ka BP were obtained, including the mean annual precipitation being 523.92 ~ 574.42 mm and the mean annual temperature being 10.6 ~ 11.0°C in 403 ~ 423 ka BP; 1 184.6 ~ 1 277.2 mm and 15.6 ~ 16.6°C in 311 ~ 403 ka BP; 517.24 ~ 669.08 mm and 9.18 ~ 12.2°C in 243 ~ 311ka BP; 1 302.7 mm and 16.5°C in 225 ~ 243 ka BP; 642.54 ~ 731.42 mm and 10.1 ~ 11.6°C in 208 ~ 225 ka BP; 1 231.4 mm and 16.0°C in 176 ~ 208 ka BP; 640.49 ~ 682.09 mm and 8.49 ~ 9.13°C in 148 ~ 176ka BP; and 1 128.2 ~ 1 294.0 mm and 16.1 ~ 16.6°C in 71 ~ 148ka BP. Now the mean annual temperature is 9°C and the mean annual precipitation 450 ~ 500 mm in Chaoyang, Liaoning, which indicates that although the climate of this area fluctuated greatly several times in the past 420,000 years, a general tendency is clear that the climate in that region is evolving from warm and humid to cold and arid.

Key words Development index; Transfer function; Paleoclimate; The western area of Liaoning

(责任编辑:过园)