

文章编号: 1006-6616(1998)04-30-41

# 黄土高原晚更新世的植被与气候环境

孙建中<sup>1</sup>,柯曼红<sup>1</sup>,魏明健<sup>2</sup>,赵景波<sup>1</sup>,李秉成<sup>1</sup>

<sup>1</sup>西安工程学院,西安 710054;

<sup>2</sup>水文地质工程地质研究所,河北 正定 050803.

**摘要:** 在被认为孢粉贫乏的黄土中分析出了大量孢粉,首次作出了黄土地层的孢粉浓度图式。根据 10 余个剖面上孢粉组合的变化,阐明了晚更新世的植被与气候在时间上演变与空间上分布的规律,证明了各地植被在时间上的演变韵律十分相似,说明它们同受全球气候变化的控制,但在同一时期各地植被不尽相同,此乃局部自然环境差异所致。根据植被变化重建了古气温曲线。

**关键词:** 黄土;晚更新世;孢粉;古气候古环境

**分类号:** Q914.81, P532

**文献标识码:** A

## 0 概述

黄土地层是大陆上最好的一份古气候记录。孢粉分析是恢复古植被与古气候的重要手段之一。然而,长期以来,人们从黄土中分析不出多少孢子与花粉,因而认为黄土中孢粉是贫乏的,还认为黄土中的孢粉被细菌吞噬了,被  $\text{CaCO}_3$  腐蚀掉了。然而作者经过潜心研究和实践,从黄土中分析出大量的孢粉。一般在 1-3 张玻片中可见到 204-594 粒以上的孢粉,加入石松孢子推算,孢粉浓度可达 156-2204 粒/克<sup>[1]</sup>。这样,不仅能作出孢粉百分比图式,而且首次在黄土地层中作出了洛川与富县两个孢粉浓度图式。孢粉浓度图式比起孢粉百分比图式有着更大的优越性,其所得孢粉数量相互间是独立的,因而弥补了百分含量中各类孢粉相互制约的缺陷,从而为推断古植被与古气候打下了可靠的基础。

为进一步阐明黄土高原晚更新世的植被与气候,作者对位于黄土高原中部典型的洛川剖面第一层古土壤( $S_1$ )底面以上作了孢粉分析。又为了探讨切入黄土塬内的沟谷中的植被,对洛川以北的富县剖面也作了孢粉分析<sup>[2]</sup>。另外,还收集了大量的资料进行分析对比。

迄今在黄土高原所发现的化石孢粉种类共 150 余个科属,其中乔木 48 个科属,灌木 24,草本 61,蕨类孢子 17,淡水藻类 3。其中绝大多数属于黄土高原现有的温带植物:乔木植物主

收稿日期: 1998-02-13

基金项目: 中科院西安黄土与第四纪地质国家重点开放实验室基金资助项目;陕西省科学技术委员会基金资助项目

作者简介: 孙建中(1931),男,教授,主要从事第四纪地质及环境地质研究。

要有云杉属(以下“属”字省略) *Picea* 冷杉 *Abies* 松 *Pinus* 松科 *Pinaceae* 栎 *Quercus* 桦 *Betula* 鹅耳枥 *Carpinus* 榛 *Corylus* 榆 *Ulmus* 朴 *Celtis* 臭椿 *Ailanthus* 栗 *Castanea* 栲木 *Alnus* 柳 *Salix* 胡桃 *Juglans* 椴 *Tilia* 白蜡树 *Fraxinus* 槭 *Acer* 木犀科 *Oleaceae* 等;灌木植物主要有麻黄 *Ephedra* 蔷薇科 *Rosaceae* 领春木 *Euptelea* 鼠李 *Rhamnus* 胡颓子 *Elaeagnus* 白刺 *Nitraria* 接骨木 *Sambucus* 等;草本植物主要有蒿 *Artemisia* 菊科 *Compositae* 藜科 *Chenopodiaceae* 禾本科 *Gramineae* 毛茛科 *Ranunculaceae* 唐松草 *Thalictrum* 玄参科 *Scrophulariaceae* 荨麻 *Urtica* 十字花科 *Cruciferae* 蓼 *Polygonum* 豆科 *Leguminosae* 草 *Humulus* 石竹科 *Caryophyllaceae* 莎草科 *Cyperaceae* 香蒲 *Typha* 等;蕨类植物孢子主要有水龙骨科 *Polypodiaceae* 卷柏 *Selaginella* 中华卷柏 *S. Sinensis* 蕨属 *Pteridium* 里白 *Hicriopteris* 石松 *Lycopodium* 铁线蕨 *Adiantum* 等。少数是跨越温带和亚热带的植物,如栎树 *Koelreuteria* 漆树 *Rhus* 枫杨 *Pterocarya* 木 *Cornus* 黄连木 *Pistacia* 等。还有少量的亚热带植物,如铁杉 *Tsuga* 化香 *Platycarya* 山核桃 *Carya* 枫香 *Liquidambar* 黄杞 *Engelhardtia* 等。此外,还见有淡水藻类环纹藻 *Concentricystes* 双星藻 *Zygnema* 和盘星藻 *Pediastrum*<sup>[3]</sup>。

## 1 孢粉分带与气候分期

从图 1 明显看出,洛川剖面可以划分出 I、II、III<sub>1</sub>、III<sub>2</sub>、III<sub>3</sub>、IV、V 7 个带和亚带,正好与宏观上的 7 个地层单位相对应:第一层古土壤 (S<sub>1</sub>), 马兰黄土下部 (L<sub>1-3</sub>) 弱古土壤 (S'<sub>02</sub>), 马兰黄土中部 (L<sub>1-2</sub>) 弱古土壤 (S'<sub>01</sub>), 马兰黄土上部 (L<sub>1-1</sub>) 以及全新世的黑垆土 (S<sub>0</sub>) 和现代黄土 (L<sub>0</sub>)。这 7 个带与亚带有着国际与国内准确对比的基础。这 5 个带与深海氧同位素曲线上的 1-5 个阶段相当。而 III<sub>1</sub>、III<sub>2</sub>、III<sub>3</sub> 3 个亚带正好与北美的塔保持港间冰阶、樱桃树冰阶、李子角间冰阶以及北欧的恒格鲁间冰阶、×× 冰阶、丹奈开普间冰阶一一对比。

洛川剖面 I 带中有 3 个木本花粉的高峰,是 3 个森林草原植被,气候较温暖湿润时期,其前后都以蒿、菊、藜为主,代表冷干气候的干草原,形成 7 个小带,其中 I<sub>b</sub>、I<sub>d</sub>、I<sub>f</sub> 3 个小带可与深海氧同位素曲线上的 5e、5e、5a 3 个小阶段对比。I<sub>a</sub>、I<sub>e</sub> 可与 5d、5b 对比,而 I<sub>a</sub> 与 I<sub>g</sub> 是末次间冰期开始与终了的过渡带。需要说明的是,此处分带是按 3 级进行的。带和亚带都具有全球意义,可以进行全球远距离对比。

富县城东剖面<sup>[2]</sup>的地层划分与洛川剖面相同,同样可划分 7 个带和亚带。S<sub>1</sub> 中的 I 带为 3 次森林草原与疏林草原的交替,其变幅不很大。中部与 S'<sub>01</sub>、S'<sub>02</sub> 相应的两个弱古土壤带,有两个木本花粉高峰,对应于 III<sub>1</sub> 和 III<sub>3</sub> 两个亚带。在 L<sub>1-1</sub> 和 L<sub>1-3</sub> 两层的中部各有一个木本花粉高峰,从而把这两个带各分成 3 个小带: II<sub>a</sub>、II<sub>b</sub>、II<sub>c</sub> 和 IV<sub>a</sub>、IV<sub>b</sub>、IV<sub>c</sub>。在 II<sub>b</sub> 和 IV<sub>b</sub> 两小带中阔叶树花粉增多,气候相对温暖,其他各小带都是冷干的干草原环境(表 1)<sup>[3]</sup>。

图 2 是引自唐领余等的临夏北塬剖面孢粉百分比图式。根据唐领余等的的数据<sup>[4]</sup>,我们重新对孢粉带进行划分。其中 7 个带和亚带也与洛川剖面一样,与剖面上的黄土—古土壤地层序列一一对应。唯此处 S<sub>1</sub> 由 3 层古土壤组成,马兰黄土中部的弱古土壤也是 3 层。I 带中的 I<sub>a</sub> 带缺失, I<sub>b</sub>、I<sub>d</sub>、I<sub>f</sub> 3 个小带是阔叶树增多的森林草原,特别是现今分布在亚热带和温带的枫杨频频出现,指示了气候变暖。I<sub>a</sub>、I<sub>e</sub>、I<sub>g</sub> 是暗针叶林或针叶林,气候湿冷或温凉。III 带中间有一个蒿的高峰形成的草原,它把前面的针叶树森林草原和后面的云杉、冷杉暗针叶林分割成 3 个亚带。IV 带中间一个针叶树的高峰也将该带分成 3 个小带。然后,将文献 [5]—[10] 中北庄村、萨拉乌苏、许家窑、富平、北京、周家油坊和荒山诸剖面一起对比(表 1)。需要说明的是萨拉

乌苏的孢粉带已按新的年代学研究<sup>[11]</sup>将其下界延伸到 200ka BP左右作了重新划分。

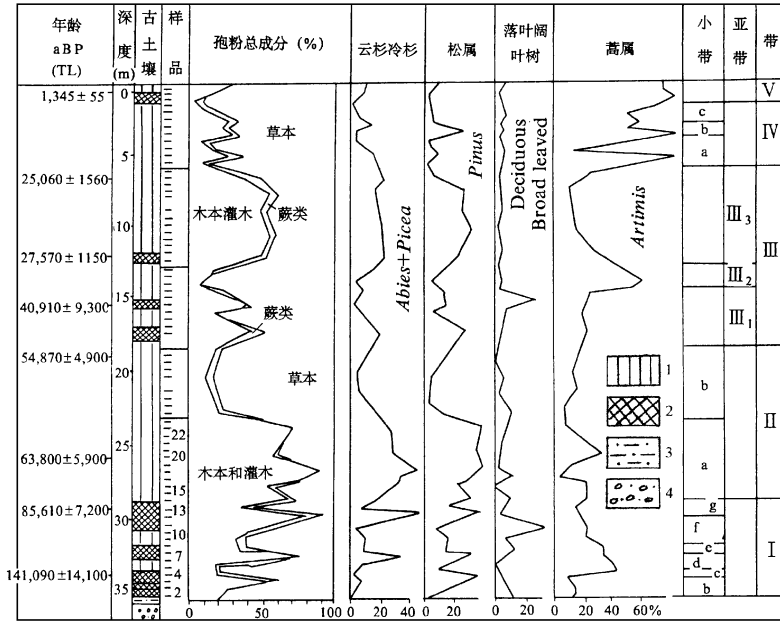


图 2 甘肃临夏北塬剖面孢粉图式(据唐领余等, 1991, 略加修改)

Fig. 2 Pollen-spore diagram of Beiyuan section in Linxia, Gansu Province

1. 黄土; 2. 古土壤; 3. 亚粘土; 4. 砂砾石

表 1除根据各剖面植被演变的韵律进行对比外, 还有相当数量的<sup>14</sup>C TL <sup>230</sup>Th 年龄数据的控制。表 1可以总览黄土高原晚更新世植被在空间与时间上的变化情况。首先, 这些剖面的可比性, 特别是全球可比性, 说明本区植被的变化受控于全球气候变化。但各地在同一时期的植被并不相同, 这就要归因于局部小气候与自然地理条件的差异。例如, 位于黄土塬面上的洛川剖面在 III<sub>1</sub>、III<sub>3</sub> 两亚带是含有云杉的森林草原, 而在洛川以北 30km 深度为 150-200m 的沟谷中的富县, 却是含有阔叶树的疏林草原。洛川 I 带有 3 个木本的高峰, 富县虽有但变幅不大, 且有亚热带的铁杉与化香少数花粉的出现。富县剖面孢粉浓度平均为 500 粒/克, 而洛川只有 200 粒/克。所以富县要比洛川塬面上气候温暖且波动微弱。可见黄土高原上的沟谷是植物的“避难所”。同样, 哈尔滨北郊荒山 III<sub>3</sub> 亚带为云杉暗针叶林, 而哈尔滨南郊的顾乡屯和吉林周家油坊却是桦木森林。这是因为荒山的沟谷聚水条件较好, 适于云杉的生长, 而松辽平原的宽阔地带比较干燥, 适于生长桦树。虽然在此时临夏、北庄村、萨拉乌苏、许家窑、北京、以至黄河口的垦利都发现了云杉、冷杉暗针叶林或含有云杉、冷杉的森林草原, 我们也不能说那时从东北、华北到黄土高原到处都是暗针叶林。这一点和孙湘君对北庄村的分析是不谋而合的<sup>[12]</sup>。北庄村在沟谷中适于云杉生长, 而周围的塬上却是草原。这一点已为她们最近在北庄村西南约 5km 的阳郭塬上的工作所证实。当北庄村生长云杉林时, 那里却是蒿草草原 (35-26.3kaBP) 和榛树疏林 (26.3-21.7kaBP)<sup>[13]</sup>。同样在北京 IV<sub>b</sub> 小带为云杉、冷杉暗针叶林, 而在富平和临夏为针阔叶混交林, 在富县为疏林草原。这显然与各地的水热条件差异有关。

综观黄土高原晚更新世大体有以下几种植被类型: 落叶阔叶林、针阔叶混交林、针叶林、暗针叶林、疏林草原、草原、干草原、荒漠草原。它们依次由温湿环境向干冷环境变化。据此, 我们可以对黄土高原晚更新世气候进行划分, 并与黄海、北美、北欧和深海进行对比(见表 2)

表 1 黄土高原及邻区晚

Table 1 Correlation of the vegetations during the

地质年代	年龄 ka BP	孢粉			陕 西 洛 川	陕西富县 柯曼红, 1993	甘肃临夏北塬 (唐领余等, 1991)	陕西岐山 (赵景波, 1995)	渭南阳郭 (孙湘君等 1996)	渭南北庄村 (柯曼红, 1991)
		带	亚带	小带	Sun Jian Zhong et. al. 1995					
更 新 世	10	IV		c	蒿、藜、菊 干草原 12, 970± 720 <sup>14</sup> C	蒿、菊、藜干草原	蒿、菊、藜干草原	菊、蒿草原	蒿草草原	蒿、菊干草原
	10.2			b		榛、栎疏林草原	针、阔叶混交林		铁杉、冷杉 针叶林	
	10.6			a	菊、蒿、毛茛 草甸草原	蒿、菊、藜干草原	蒿、菊、藜干草原		菊草甸 草原	
	11.2	III		e	云、杉、松 森林草原 31, 200± 250 <sup>14</sup> C	栎、桦、菊、蒿 疏林草原	云、冷杉、 暗针叶林 25060± 1560 27570± 1150 (TL)	栎、桦阔叶林	蒿、菊草原	榛、蒿疏林草原
	12			d						云杉暗针叶林 28400± 340 <sup>14</sup> C
	13			c						朴、榆疏林草原
	23			b						云杉、暗针叶林 30, 930± 320
				a						榛、蒿森林草原
	32	III <sub>2</sub>	蒿、菊干草原	蒿、菊干草原	蒿草原	菊、蒿、藜草原	蒿草草原			
	36	III <sub>1</sub>		松、云杉 森林草原	臭椿、栎、榛 疏林草原	松、云杉森 林草原 40910± 9300 (TL)	栎、枫杨阔叶林 栎、蒿森林草原	草甸草原		
	54									
	75	II		c	蒿、藜干草原 69000± 7000 (TL)	菊、蒿干草原	菊、蒿干草原 54870± 4800 (TL)	蒿、菊干草原	蒿草草原	
b				疏林草原		云杉、暗针叶林 63800± 5900 (TL)	臭椿、栎胡 桃、阔叶林			
a	菊、蒿干草原					臭椿、栎 森林草原				
128	I		g	菊、毛茛 草甸草原	榛、菊、蒿森 林草原与疏林 草原的三次交 替,含铁杉、 花香	松、云杉、暗针叶林 85610± 7200(TL)	栎、胡桃、栗、 枫杨阔叶林	蒿草草原		
			f	朴、胡桃、栎 森林草原		枫、杨、榆、松 混交林		榆树林		
			e	蒿、菊、藜干草原		云、冷杉暗针叶林	草甸草原			
			d	松、铁杉、木犀 森林草原		松、栎、桦森林草原	栎、榆森林草原			
			c	蒿、菊干草原		松、云杉针叶林				
			b	松、栎、臭椿 森林草原		松、枫、杨、胡桃 森林草原	栎、臭椿、枫杨、 化香阔叶林			
			a	蒿、菊干草原						

## 更新世植被对比表

## Late Pleistocene in the Loess plateau and its adjacent

内蒙古萨拉乌苏 (柯曼红等 1992)	山西阳高 许家窑遗址	陕西 富平	陕西靖边 糜地湾 (周卫健 等 1996)	北京 坟庄 (孔昭宸, 1980) 北京饭店 (周昆叔, 1982)	吉林榆树 周家油坊	哈尔滨 荒山主沟	气候分期		
							冰阶 (S) 间冰阶 (i)	副冰期	冰期
孙建中、赵景波等, 1991)					(孙建中等, 1985)				
柳、蒿、藜灌丛草原		蒿、藜 干草原	荒漠 桦、云、冷杉 森林草原	松、椴、蒿 森林草原 11850± 200 14C	蒿草 干草原	荒漠(孢 粉贫乏带)	富平 (S)	晚 大理	
		针、阔混交 森林草原 13059± 368 14D	荒漠 榆、栎疏 林草原	云杉、暗针叶林 13100± 200			坟庄 (i)		
				蒿干草原 17900± 400			北庄村 (S)		
松、云杉森林草原 27,940± 600 14C	落叶松、 松、云杉 针叶林			云、冷杉、暗针 叶林 29300± 1350 14C	桦森林 草原 2414 0± 800 26100 ± 850 27530± 500 14C	云杉暗针 叶林 28280± 940 2984 0± 1340 30000± 700 14C	山根屯 (i)	大 大理	中 大理
菊、藜、蒿干草原	松、桦、蒿 疏林草原				桦、蒿疏 林草原	桦、蒿森 林草原	阿什河 (S)		
柳、蒿、藜灌 丛草原	松、桦、针、 阔叶混交林				桦木森林	桦木森林	刘芳屯 (i)		
菊、藜、蒿、 干草原	蒿、菊干草原				桦、蒿森林 草原 59800± 3300 (230Th)	水龙骨、 蒿草原或 草甸	大于 (S)	早 大理	
	松、藜森林 草原								
	蒿、藜干草原								
"	云杉、暗 针叶林								
柳、蒿、藜灌 丛草原	落叶松、云 杉、暗针叶林						5a(i)		未 次 间 冰 期
松、云杉、蒿森林草原	云杉、暗针 叶林 104000 ± 4000 (230Th)						5b(S)		
松、栎疏林草原							5c(i)		
松、云杉、森林草原							5d(S)		
松、云杉、桦、榆 森林草原							5e(i)		
云杉、松、桦森林草原									

表 2 黄土高原及邻区晚更新世气候分期对比表

Table 2 Correlation of the climatic subdivisions of the Late Pleistocene in the Loess plateau, China, with that of the other parts in the world

黄土高原及邻区					黄海地区 (徐家声) (1981)	北美 (卡罗, 1984)			北欧 (尼尔松, 1983) (拜尔, 1992)			深海氧同位素阶段			
冰期、间冰期	副冰期	年龄 ka B P	孢粉		冰阶 (S) 间冰阶 (i)	海进 (t) 海退 (r)	冰阶 (S) 间冰阶 (i)	副冰期	冰期	冰阶 (S) 间冰阶 (i)	副冰期		冰期		
			带	亚带										小带	
晚大理		10	IV		c	富平 (S)	海洋岛 (r)	奥岗昆 (S) 北海湾 (i) 大湖 (S) 双溪 (i) 休伦港 (S)	晚威斯康星	新仙女木 (S) 阿列罗得 (i) 老仙女木 (S) 宝令 (i) 古仙女木 (S)	晚威克塞尔		2		
		12			b	坟庄 (i)								马金诺 (i) 布鲁斯港 (S) 伊利 (i) 尼索里 (S)	? 罗尼斯 (i) 波马尔 (S) ? 布兰登堡 法兰克福 (S)
		13			a	北庄村 (S)									
中大理		23	III	III <sub>3</sub>	山根屯 (i)	灌南 (t)	李子角 (i)	中威斯康星冰期	威斯康星冰期	丹奈开普 (i)	盛威克塞尔	威克塞尔冰期	3		
		32		III <sub>2</sub>	阿什河 (S)	晚城山头 (r)	樱桃树 (S)			(S)					
		36				刘芳屯 (i)	海洲湾 (t)			塔保持港 II (i)				恒高鲁 (i)	? 阿普通瓦林 (S)
		39								未名冰阶 (S)				? 毛尔绍夫 (i)	
		45								塔保持港 I (i)				? (S) 格林德 (i)	
		48												艾伯斯道夫 (S)	
		51													
	54					厄雷尔 (i)									
	58					夏克豪兹 (S)									
早大理		75	II		大于 (S)	早城山头 (r)	古尔德伍德 (S)	早威克塞尔	奥德雷德 (i)	早威克塞尔		4			
末次间冰期		80	I		g f	5a(i)	圣皮尔 (i)	桑加蒙间冰期		雷德斯塔 (S)	早威克塞尔	5			
		95			e	5b(S)	尼古来特 (S)			布罗洛普 (i)					
		105			d	5c(i)				赫尔宁 (S)					
		115			c	5d(S)									
		128			b a	5e(i)							伊姆间冰期		
														5e	

首先,我们将晚更新世分为末次间冰期与末次冰期。末次间冰期的上、下界线参照深海氧同位素曲线定为 75ka B P和 128ka B P。但在北美将末次冰期置于 80ka B P之前<sup>[14]</sup>,在北欧将其置于 115ka B P<sup>[15, 16]</sup>,而将相当于深海氧同位素 5e小段的最暖期叫作“高峰间冰期”(Peak

interglaciation),后者相当于北美的桑加蒙间冰期 (Sangamon),北欧的伊姆间冰期 (Eemian)。这可以说是狭义的间冰期<sup>[17]</sup>。而我们采用广义的间冰期,它相当于深海氧同位素第5阶段。

末次间冰期在洛川剖面出现了3个木本植物的高峰。临夏剖面在此时也出现了3个阔叶树增多的时期,其间枫杨屡屡出现,气温高于现今,这是末次间冰期中的间冰阶。其间间隔着干草原或暗针叶林,后者频频发现生长于冰川附近的冰川茶子,说明气温低于现今,是末次间冰期中的冰阶,当时气温相当于末次冰期中的间冰阶。这些冰阶、间冰阶暂按深海氧同位素第5阶段中的5个小阶段命名。

末次冰期在我国以大理冰期为代表。我们曾将之分为早、中、晚3个副冰期。早大理副冰期以前曾根据周家窑剖面下部的孢粉组合特征和一个<sup>230</sup>Th年龄 $59.800 \pm 3.300 \text{kaBP}$ 而建立了大于冰阶,从许家窑剖面和富县剖面两个干草原阶段中夹有一个森林草原或阔叶树增长带看,已出现三分的迹象。中大理副冰期三分的形势在大部分剖面上对比都很好。因而刘芳屯间冰阶、阿什河冰阶、山根屯间冰阶3个时期又得到了进一步的证实。山根屯间冰阶在北庄村剖面显示了五分的局势,这5个小阶段与孙湘君<sup>[12]</sup>的结果完全一致。晚大理副冰期以前划分了北庄村冰阶、坟庄间冰阶和富平冰阶。这次在富县与临夏也得到了证实。末次冰期最后阶段的富平冰阶,年龄在 $12-10 \text{kaBP}$ 之间,它包括了欧洲的新仙女木期 (Younger Dryas)。后者的时限为 $11-10 \text{kaBP}$ <sup>[17]</sup>。新仙女木期是更新世后全新世前的一个寒冷事件,因而引起人们的普遍关注。周卫健等<sup>[18]</sup>对气候敏感的沙漠-黄土过渡带中靖边糜地湾剖面进行了高分辨率的研究。这一成果不仅证明了新仙女木事件的普遍性,而且说明中国气候变化的特殊性,即在该事件的中期,有约400年的温湿气候颤动。由于原作者尚未命名,我们将之暂归于“富平冰阶”。

## 2 古温度的估计与气温曲线的建立

植物可以说是最灵敏的气候指标。目前所有的替代性指标没有一个可与它比拟。现在用于估计古温度的植被,准确度最高,争议最少者,莫过于云杉、冷杉暗针叶林。用距化石出土地点最近的高山上同类植被最为可靠。由表3可知,北庄村所估计的降温值最准确,此处气温梯度采用一般常用值为 $0.5^\circ\text{C}/100\text{m}$ 。

另一种植被是富平钻孔底部以松、蒿为主杂有少量云杉、冷杉和温带落叶阔叶树的针阔叶混交的森林草原,类似植被生长于富平以南75km的秦岭山地1200-1800m高度上。富平标高400m,与之相差800-1400m,相当温差4-7°C。因有少量云杉、冷杉出现,按该林带的上部计,取6°C。

表3 利用暗针叶林估算古温度

Table 3 Estimation of the paleotemperature by comparing the elevation of the fossil-darkconiferous forest with the present one

化石暗针叶林产地标高 (m)	现生暗针叶林标高 (m)	距离 (km)	温差 (°C)
哈尔滨 荒山 150	白头山 1400-1800	460	6-8
北京 50-100	小五台 1600-2000	120	7.5-9.5
阳高许家窑 980	五台山 1800-2300	120	4-6.5
渭南北庄村 490	秦岭草链岭 2100-2300	27	8-9
临夏 1865	马衔山 2500-2800	50(?)	3-4.5

再者,临夏、洛川和富县的末次间冰期的植被中,发现了一些跨越温带和亚热带的树种,如栎树、漆树、枫杨、木、黄连木,以及亚热带树种如铁杉、化香、山核桃、枫香、黄杞等,说明在间冰期的间冰阶时,气候带曾经北移,气候比现今温暖湿润。铁杉是现生于秦岭以南的常绿乔木,纬度在  $33^{\circ}$ — $34^{\circ}$  N 以南,比富县低  $2^{\circ}$ — $3^{\circ}$ 。如按纬度气温梯度为  $1^{\circ}\text{C}/1^{\circ}\text{N}$  计,间冰期最高年均温度应比现今高  $2^{\circ}$ — $3^{\circ}\text{C}$ ,平均为  $2.5^{\circ}\text{C}$ 。末次间冰期最高峰时可取  $3^{\circ}\text{C}$ ,温度稍低的间冰阶约高于现今  $1^{\circ}\text{C}$ 。黄春长<sup>[19]</sup>估计末次间冰期气温比现代高  $1.2^{\circ}$ — $3.2^{\circ}\text{C}$ ,与我们的估计相近。

竺可桢<sup>[20]</sup>估计全新世气温比现在高  $2^{\circ}\text{C}$ ;施雅风等<sup>[21]</sup>估计全新世大暖期比现今高  $2^{\circ}$ — $3^{\circ}\text{C}$ ,平均  $2.5^{\circ}\text{C}$ ,我们引用之。比较困难的是如何用草原植被估计古温度的问题。由于目前对草本植物只能鉴定到科、属,而不能鉴定到种,难以与现今草原进行对比。在我们的孢粉组合中既未发现山地垂直分带中最上部的高山草甸和高山灌丛,也未发现大陆纬度植被带最北部的苔原带。所以,将干草原之类植被估计为最冷气候的代表似嫌论据不足。然而,从西伯利亚末次冰期齐梁斯克冰期 (Зырянское Оледенение) 的植被图上看<sup>[22]</sup>,苔原植被仅分布于西伯利亚北部。西伯利亚中南部广大地区直到贝加尔湖以东以至额尔古纳河西岸,分布着一种叫作“冰缘草原”的植被,主要是一些旱生草本植物如:蒿、藜、麻黄等。这个冰缘草原当然不会受额尔古纳河阻挡而不向我国伸展,所以我们推断这里发现的干草原就是这种冰缘植被。

另一方面,多年冻土(冰缘环境)南界的估计问题却和末次冰期最大降温值的估计问题密切地联系在一起。关于这个问题颇有争议,各家估计差别很大(表 4)。

表 4 各家对冻土南界与末次冰期最大降温值之估计

Table 4 Estimations of the south boundary of the permafrost and the maximum temperature drop during the last Glaciation by different authors

作者	时间	冻土南界	最大降温值 ( $^{\circ}\text{C}$ )
徐叔鹰	1986	松辽分水岭	6
郭东信	1981	沈阳以北	6.5
崔之久	1984	北京、大连	11.5
孙建中	1980—1986	北京、大连	12
浦庆余	1984	陇海线稍南	14
杨怀仁	1980	杭州湾	7—12,从图上看可达 16
曹伯勋	1989		13—14
安芷生等	1990		> 13
孙建中	1991	淮河口—秦岭南坡	14
郭旭东	1991		13—15
陶书华	1995	眉县温泉气温度 ( $\delta_D$ )	13.28

近年郭旭东<sup>[23]</sup>在北京西山地区发现了一些冰缘现象,特别是冰楔假型的发现对估计古温度有特别的价值。北京西山斋堂地区现今年均温  $10.1^{\circ}\text{C}$ ,按 Washburn A L<sup>[24]</sup>的意见,冰楔形成于  $-5^{\circ}\text{C}$  条件下,则当时气温应比现今低  $15^{\circ}\text{C}$ 。他们估计为  $13^{\circ}$ — $15^{\circ}\text{C}$ 。

曹伯勋<sup>[25]</sup>在北京太平山地区发现了一个冰楔假型群。虽然这些是 800ka B P 前的,不是末次冰期的,但根据海洋氧同位素曲线的研究,800ka B P 以来全球气候变化的周期性十分明显,各周期的振幅基本一致。因此,可以作为末次冰期的借鉴。曹伯勋估计冰期的降温值为  $13^{\circ}$ — $14^{\circ}\text{C}$ 。安芷生<sup>[26]</sup>等估计此值  $> 13^{\circ}\text{C}$ 。陶书华<sup>[27]</sup>求得眉县温泉热水形成于  $10^{\circ}$ — $30\text{ka}$  之间,



其氘(D)同位素温度比现今低  $13.28^{\circ}\text{C}$ 。由此可见,末次冰期的最大降温值估计为  $14^{\circ}\text{C}$  是可以接受的。在此,我们采用了浦庆余<sup>[28]</sup>的方案,将最大冻土南界置于淮河口—徐州稍南—郑州稍南—秦岭南坡一线,也就是现代  $14^{\circ}\text{C}$  等温线的位置。它在冰期时应为  $0^{\circ}\text{C}$  等温线,冻土南界大约与  $0^{\circ}\text{C}$  等温线一致。这个对冻土南界的估计与前面对冰缘草原植被的估计正好相互印证。

在末次冰期鼎盛的 18ka B P 左右,在北庄村的孢粉组合中,蒿占 88.9%,还有菊、藜、麻黄等。在 280 粒孢粉中,乔木花粉一粒也没有,可见气候极端干旱寒冷,可能冰缘环境已达到此地。

根据上述,可以作出黄土高原及其邻区中国北方地区晚更新世的气温曲线(图 3)。它可以很好的与北美劳伦蒂大冰盖冰川进退曲线和深海氧同位素曲线对比。曲线的横坐标是用古今温度差表示的。如果求某一地点的气温曲线,只需将当地多年平均气温与横坐标上的数字相加即可。

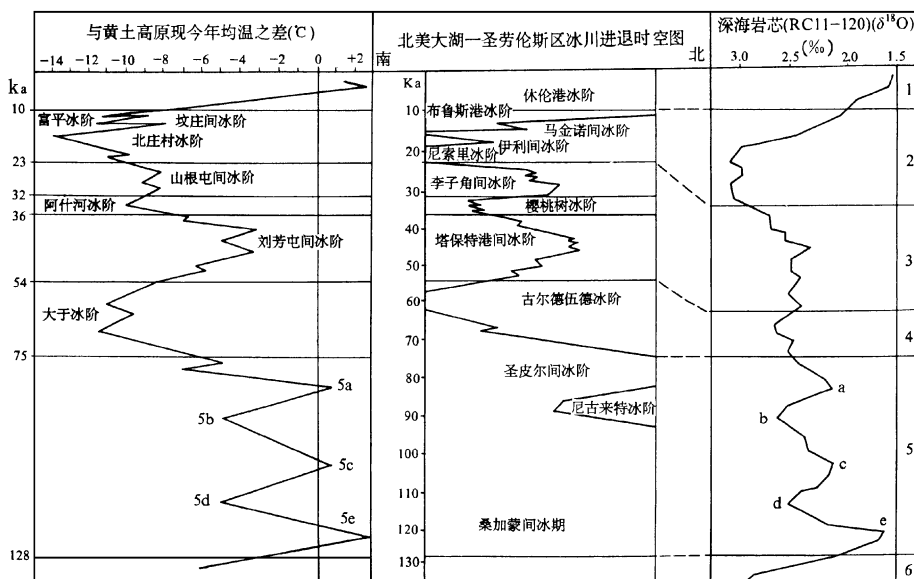


图 3 黄土高原晚更新世气温曲线与世界各地气候曲线之对比

Fig. 3 Comparison of the climatic curve during Late Pleistocene in the Loess Plateau, China, with that of the different parts of the world

### 3 结论

综上所述,我们可以得出以下结论:

(1)黄土高原及其毗邻地区晚更新世初期以来,植被随时间的演变情况与世界各地的可比性,说明了黄土高原的气候变化与全球变化是同步的,黄土高原气候变化是受全球气候变化控制的。

(2)黄土高原所在的亚洲大陆东部是季风盛行区,其特点是从东、南两面海上来的夏季风带来了温暖与水分,是热与湿相伴;从西北大陆来的冬季风是冷与干相随。间冰期时全球气候变暖,夏季风加强,气候温湿,植被繁茂。冰期冬季风盛行,气候干冷,植被凋零。因此,黄土高原植被变化特别强烈,从而对气候变化反应特别灵敏。

(3)在同一时期,在广大地区植被并不完全相同。这是由于各地局部地理环境与“小气候”影响所致。如前所述,哈尔滨荒山与广大松辽平原上的差别,富县沟谷与洛川黄土塬面上的差别,还有象许家窑与临夏这些山间盆地的有利条件而长期断续生长暗针叶林,而其他地区却生长着不同类型的植被。

(4)黄土高原晚更新世的植被,总的说不超出温带植被类型。只在末次间冰期的3个温暖阶段,有亚热带植物北迁的现象。在间冰期的冰阶和冰期中的间冰阶时,高山植被下降到平地,或是温带落叶阔叶树稍有复苏;而在末次冰期的冰阶时,常常是干草原或荒漠草原景观,这时干冷的冬季风盛行,强劲的西北风带来大量粉尘,加速了黄土的堆积,抑制了树木的生长,使黄土高原大部处于冰缘环境之中。从植被带的迁移幅度看,冰期与冰阶时纬度植被带曾大举南侵。冻土南界由黑龙江讷河移到淮河口,其幅度达14.5个纬度。但间冰期时亚热带植物却仅仅稍微越过秦岭,变幅很小,这与冰期时降温幅度很大,间冰期时升温幅度较小有关。

## 参 考 文 献

- [1] 柯曼红. 黄土孢粉分析方法的研究 [J]. 植物学报, 1994, 36(2): 144-147.
- [2] 柯曼红, 孙建中, 赵景波. 富县地区末次间冰期以来古气候环境的演变 [J]. 西安地质学院学报, 1993, 15(4): 172-177.
- [3] 吴征镒. 中国植被 [M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [4] 唐领余, 康建成, 冯兆东. 兰州地区黄土剖面气候旋回的孢粉记录. 中国西部第四纪冰川与环境 [C]. 北京: 科学出版社, 1991, 237-243.
- [5] 柯曼红, 孙建中, 魏明健. 萨拉乌苏地区末次冰期的古气候及古环境 [J]. 植物学报, 1992, 34(9): 717-719.
- [6] 孙建中, 王淑英, 王雨灼, 等. 东北末次冰期的古环境 [J]. 中国第四纪研究, 1985, 6(1): 82-89.
- [7] 孙建中. 中国北方末次主气候旋回气温曲线之初步恢复 [J]. 冰川冻土, 1985, 7(4): 317-322.
- [8] Sun Jianzhong, Li Xingguo. Palaeoenvironment of the Last Glacial Stage in North China. International Geomorphology, Part II, 763-773. John Wiley & Sons Ltd. 1987.
- [9] Sun Jianzhong, Li Xingguo. Division and temperature condition of the Last Glaciation in Northern China. Permafrost proceeding [J]. 1988 Vol. 1 Tapir Publishers, Trondheim, Norway. 107-112.
- [10] 孙建中, 赵景波, 等. 黄土高原第四纪 [M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [11] 郑洪汉, 等. 中国北方晚更新世环境 [M]. 四川: 重庆出版社, 1991.
- [12] 孙湘君. 陕西渭南北庄村更新世晚期古植被的再研究 [J]. 第四纪研究, 1989(2): 177-189.
- [13] 孙湘君, 宋长青, 王瑜, 等. 黄土高原南缘10万年以来的植被——陕西渭南黄土剖面的花粉记录 [J]. 科学通报, 1995, 40(13): 1222-1224.
- [14] Karlow P F. Quaternary stratigraphy and history [M], Great Lakes-St. Lawrence region, 1984.
- [15] Behre K-E. Biostratigraphy of the Last Glacial Period in Europe [J]. Quaternary Science Reviews. 1989 Vol 8 25-44.
- [16] Behre K-E. Johannes van der Plicht, Towards an absolute chronology for the last glacial period in Europe radiocarbon dates from Oerel, northern Germany [J]. Vegetation history and Archaeobotany, 1992, 1, 111-117.
- [17] Nilsson T. The Pleistocene—Geology and life in the Quaternary ice age [M]. D. Reidel Publishing Company, London, 1983.
- [18] 周卫健, 李小强, 董光荣, 等. 新仙女木期沙漠—黄土过渡带高分辨率泥炭记录—东亚季风气候颤动的实例 [J]. 中国科学 (D), 1996, 26(2): 118-124.
- [19] 黄春长. 黄土高原南部晚更新世黄土古土壤与气候变迁 [J]. 地理学报, 1989, 44(1): 1-10.
- [20] 竺可桢. 中国近五千年来气候变迁的初步研究 [C]. 竺可桢文集. 北京: 科学出版社, 1979, 475-498.
- [21] 施雅风, 孔昭宸, 王苏民, 等. 中国全新世大暖期鼎盛阶段的气候与环境 [J]. 中国科学 (B), 1993, 23(8): 865-873.
- [22] Гителитлан Р Е, Голубева Л В, Кореньева Е В, И Т П Периодическая Растительность Сибири [M] (Кореньевая Янт Рубо новых Оглокенич Северной Евразии) зд. «Наука» Москва. 1965

- [23] 郭旭东,严富华,金增信. 北京西山的冰缘期与更新世环境 [J]. 冰川冻土, 1991, 13(2): 159- 167.
- [24] Washburn A C. Geocryology—A survey of Periglacial Processes and environments[M ]. London Edward Arnold, 1979.
- [25] 曹伯勋,田明中,李长春. 北京周口店地区新发现距今 73- 90万年地层与古冰楔遗迹研究 [J]. 科学通报, 1989, (7): 530- 533.
- [26] 安芷生,吴锡浩,汪品先,等. 最近 130ka中国的古季风—I. 古季风记录,II. 古季风变迁 [J]. 中国科学 (10, 11), 1991, 1076- 1081, 1209- 1215.
- [27] 陶书华. 西安附近地区地下热水的形成 [J]. 水文地质工程地质, 1995, (5): 6- 11.
- [28] 浦庆余. 大理冰期我国东部多年冻土区的南部界线及其演变 [J]. 水文地质工程地质, 1984(4): 49- 51.

## VEGETATION AND ENVIRONMENT DURING THE LATE PLEISTOCENE IN LOESS PLATEAU, CHINA

SUN Jianzhong<sup>1</sup>, KE Manhong<sup>1</sup>, WEI Mingjian<sup>2</sup>, ZHAO Jingbo<sup>1</sup>, LI Bingcheng<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Xi'an Engineering University, Xi'an 710054;

<sup>2</sup> Institut of Hydrogæology and Engineering Geology, Zhending Hebei 050803.

**Abstract** We have worked out quite a few pollens and spores from the commonly spore-pollen poor loess, and first plotted some concentration pollen-spore diagrams of the loess strata. The evolution of vegetation and the corresponding climate in time and space in the region has been brought to light by an analysis of the variation of pollen-spore assemblages in many sections. There are three interstadials, warmer than present and two cooler stadials in the Last Interglaciation. They are correlated with the substages 5a, 5b, 5c, 5d and 5e of the deep sea oxygen isotopic curves. The climate in the stadials was severely cold, with a mean annual temperature  $14^{\circ}\text{C}$  lower than the present. The climate in the interstadials was relatively warmer, with a mean annual temperature  $3-9^{\circ}\text{C}$  lower than the present. The temperature in the stadials of the Last Interglaciation was the same as that in the interstadials. The temperature in the interstadials was  $1-3^{\circ}\text{C}$  higher than the present. It is known by comparing the pollen-spore diagrams from ten sections in the Loess plateau, that, the change of vegetation in time is very similar, This implies that they were controlled by the same global climatic change. But the vegetation may vary from place to place due to change of local natural environment. The paleotemperature curve is reconstructed from the variation of vegetation during the Late Pleistocene.

**Key words** Late Pleistocene; pollen-spore; loess; paleoclimate; paleoenvironment