

甘肃合水黄土塬面全新世成壤环境变化^{*}

周群英¹, 黄春长², 庞奖励²

(1. 陕西教育学院人文环境系, 西安 710061; 2. 陕西师范大学旅游与环境学院, 西安 710062)

提 要:通过对黄土高原腹地甘肃合水 MJY 全新世土壤剖面磁化率、全铁、TOC、Rb、Sr 和 Rb/Sr 等气候代用指标的测定分析,揭示了与全新世环境变化相对应的成壤过程,并在此基础上,阐明黄土高原中部地区环境资源变化对人类活动的影响。认为全新世早期,黄土高原中部地区气候比较温和干燥,风尘堆积速率降低,地表植被以草本为主,并有一定的生物风化成壤作用,土壤发育表现为边沉积边成壤;全新世中期,气候温暖湿润,地表植被发育,生物风化成壤作用大于风尘堆积作用,随着沉积和成壤的继续,土壤层深厚,形成古土壤层(S_0);全新世晚期,气候开始恶化,干旱少雨,植被退化,沙尘暴频繁发生,风尘堆积作用大于风化成壤作用,土壤退化形成的现代黄土层(L_0)覆盖了土壤(S_0)使之成为埋藏古土壤。在寺洼文化时期(3250—2520 a B. P.),由于气候干旱使环境资源恶化,土壤退化严重,土地资源利用方式和文化形态从原始的农耕文化转向游牧类型文化。

关键词:黄土高原;全新世;土壤剖面;成壤环境

中图分类号: S151. *3

文献标示码: A

黄土高原地处我国半干旱—半湿润季风环境敏感区,同时又是中华民族主要发祥地之一,亦是我国传统农业耕作区。全新世以来,黄土高原地区气候发生了多次的波动,对水、热、土资源和农业生产都产生了一定的影响。尤其在黄土高原腹地半干旱的农牧交错带,由于生产力的低下,早期人类活动、土地利用与环境之间的依存关系十分密切,气候环境的波动变化,人类土地利用方式也就出现相应的转变,甚至导致区域文明的兴衰变化。本文选择甘肃合水黄土塬面的寺洼文化遗址区农耕地剖面作为研究对象,通过对剖面进行高密度系统采样和磁化率、全铁、有机碳及微量元素 Rb、Sr 和 Rb/Sr 比值等代用指标的测定分析,对黄土高原中部地区黑垆土的成壤环境演变及对人类活动的影响进行研究。

1 研究地点和地层剖面特征

选择位于陇东黄土高原亚区的中部塬面——甘肃合水 MJY 剖面,海拔高度 1400mm,当地年平均气温为 7~10°C,1 月平均气温 -4~-8°C,7 月平均气温 19~22°C,年平均降水量约为 450~550mm,属温带半干旱落叶阔叶林带。该土壤剖面出露完整,土壤学层次与地层学层次都很清晰。剖面下部露出晚更新世马兰黄土,上部为全新世黄土与古土壤序列。对于该剖面的宏观形态特征描述见表 1。

根据关中和陕北南部利用 ^{14}C 和 TL 测年确定的马兰黄土顶界和黄土 L_0 底界年代^[1~2],参照眉县清淤村剖面的年代序列,考虑剖面在 L_0 下部发现寺洼文化层和木炭屑的层位关系,初步确定了 MJY 土壤剖面年代序列^[3~4](表 1,图 1)

2 研究方法与分析结果

* 收稿日期: 2006-04-25。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40471119;40571154);教育部博士点基金(20050718008)资助。

作者简介: 周群英(1970—),女,博士,副教授,自然地理专业。

表 1 合水 MJY 土壤剖面形态特征描述
Tab. 1 Description of the soil profile at MJY site in the Heshui County, Gansu Province

地层和 地层符号	深度 (cm)	校正年代 (yr B.P.)	颜色	形态特征描述
表土层 (TS)	0-44	1500~0	浊橙 (7.5YR,6/4)	粉沙质地,粒状、团粒状结构,很疏松,有球形团粒,但很少;下部 24~45cm 有较多团粒(直径为 1~2mm),有个别蚯蚓孔,全部易碎成粉末,多植物根系。
现代黄土层 (L ₀)	88-44	3100~1500	浊黄橙 (10YR,7/4)	粉沙质地,团块结构,球形团粒粗大,发育明显(直径为 1~3mm),比较疏松易碎成粉末,有少量蚯蚓孔为自然沉积,而 86~88cm 处质地疏松,时见灰烬、黑斑膜和木炭屑(1.2~1.5cm)及黑色烧土块,应为寺洼文化层。
古土壤层 (S ₀)	180-88	8500~3100	浊红棕 (5YR,4/4)	粉沙质地,团块结构,球形团粒很发育(直径为 1~2mm),相对较紧实,略硬,有蚯蚓孔和粪粒,通体都有白色钙质菌丝体,其 172~174cm 见橘红色陶屑(1mm)。
过渡层黄土 (Lt)	210-180	11,500~8500	浊橙 (7.5YR,6/4)	粉沙质地,均质块状结构,疏松易碎成粉末,少量白色钙质菌丝和钙质粉霜,无大孔隙。
马兰黄土 (L ₁)	?-210	?-11,500	浊橙 (10YR,7/4)	粉沙质地,均质块状结构,极疏松易碎成粉末,无大孔隙,有少量钙质菌丝体,230~238cm 略见有团粒出现,但仍很疏松。

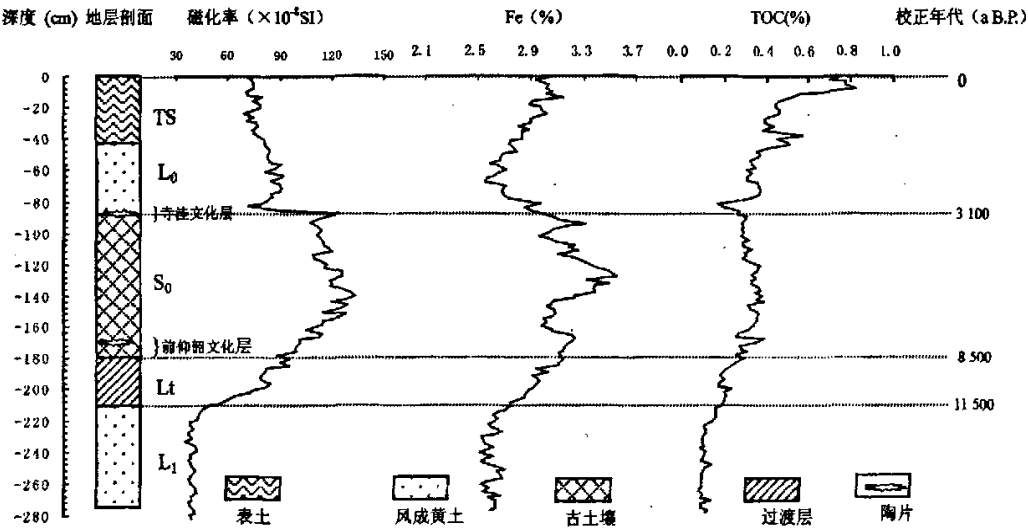


图 1 甘肃合水 MJY 剖面磁化率、全铁、TOC 变化曲线图
Fig. 1 Curves of changes in magnetic susceptibility, percentages of total Fe and TOC
in the soil profile at the MJY site, Heshui County, Gansu Province

2.1 研究方法

为了获得较高的时间分辨率,在详细的野外观察分析的基础上,对 MJY 土壤剖面进行了系统采样。自地表开始向下每 2cm 连续采样,至马兰黄土顶部,共采集样品 140 个。这些样品经过自然风干,每个样品取 50g 进行粗研磨至粒径小于 2mm;再采用 Bartington MS2-磁化率仪对样品进行磁化率的测定,每个样品测定 3 次,取平均值。

另取样品 10g 在玛瑙研钵中研至 200 目以下,并将其混合均匀,从中取出 0.5g 置于聚四氟乙烯坩埚中,分别加入浓硝酸、氢氟酸、高氯酸高温溶解,然后用去离子水定容于 50ml 容量瓶以备分析。对样品中全 Fe、Rb 和 Sr 的含量分析采用原子吸收光谱法,仪器为北京第二光学仪器厂生产的原子吸收光谱仪(WFX-IC 型)。在分析过程中,加入检测样品进行质量控制。

取烘干的细研土 150mg 放入舟中,采用德国生产的 elementar high TOC II 仪器进行总碳 TC 的测定;另

取烘干样 150mg 放在舟中,加浓盐酸数滴直至土样不在冒气泡,(目的是分解 CaCO_3 , 去除无机碳),再烘干,采用总碳的测量方法测有机碳(TOC)。根据 TC、TOC 求得 CaCO_3 的含量。分析结果(图 2 和表 2)。

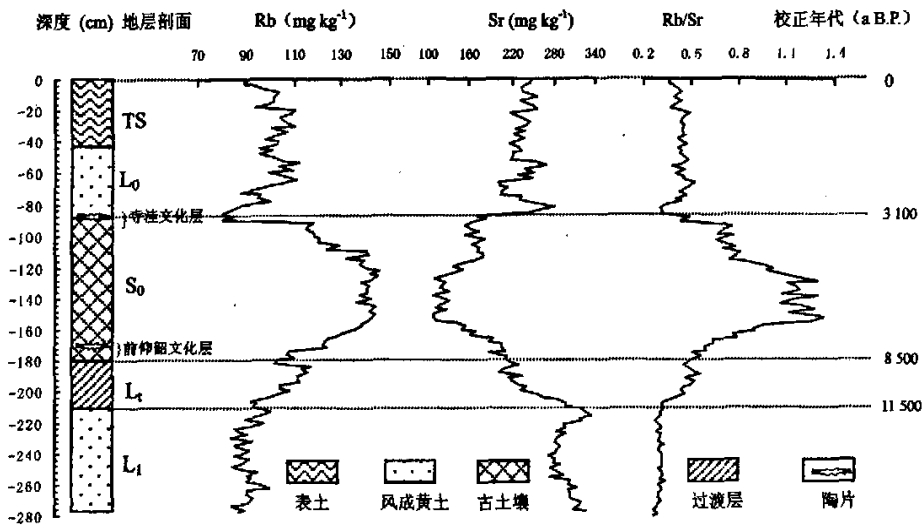


图 2 甘肃合水 MJY 剖面的 Rb、Sr 和 Rb/Sr 变化曲线图

Fig. 2 Curves of changes of Rb, Sr and Rb/Sr in the soil profile at the MJY - A site, Heshui County, Gansu Province

2.2 分析结果

磁化率反映土壤剖面铁磁性矿物含量的变化,而这些铁磁性矿物主要是在风化成壤过程中产生的。因而磁化率的变化反映了成土强度的变化,间接反映了气温降水强度的变化,即夏季风强度的变化。MJY 剖面磁化率变化在 $35 \times 10^{-8} \text{SI} \sim 134 \times 10^{-8} \text{SI}$ 之间(表 2),其中马兰黄土磁化率值最低,平均在 $40 \times 10^{-8} \text{SI}$,表明马兰黄土形成在冰期的干旱环境当中,沙尘暴大量堆积粉尘,几乎没有发生明显地生物风化成壤作用。全新世剖面的磁化率也有显著波动,在古土壤层(S_0)磁化率值出现最大值,且平均值达到了 $115 \times 10^{-8} \text{SI}$,表明在 S_0 时期,气候条件温暖湿润,生物风化成壤很强烈。另外,从剖面磁化率曲线我们注意到,磁化率从马兰黄土向全新世增加的过程有一很长的过渡段,到全新世古土壤的近顶部才达到磁化率的最

表 2 甘肃合水地区剖面中磁化率、全铁、TOC、Rb、Sr、Rb/Sr 分析结果

Tab. 2 Results for magnetic susceptibility, percentages of total Fe ,TOC, Rb,Sr,Rb/Sr in the soil profile at MJY site, in Heshui, Gansu Province

层位	深度 (cm)	品 数	磁化率($\times 10^{-8} \text{SI}$)		全铁(%)		TOC(%)		Rb (mg kg^{-1})		Sr (mg kg^{-1})		Rb/Sr	
			范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值
T_s	44 ~ 0	22	71 ~ 82	76	2.67 ~ 3.18	2.90	0.39 ~ 0.83	0.54	87 ~ 123	102	217 ~ 257	238	0.36 ~ 50	0.43
L_0	88 ~ 44	22	72 ~ 123	86	2.16 ~ 3.06	2.62	0.17 ~ 0.41	0.30	85 ~ 109	98	172 ~ 280	235	0.31 ~ 0.57	0.43
S_0	180 ~ 88	46	83 ~ 134	113	2.71 ~ 3.56	3.09	0.25 ~ 0.39	0.32	96 ~ 120	108	107 ~ 222	157	0.46 ~ 1.33	0.88
L_t	210 ~ 180	15	56 ~ 85	74	2.85 ~ 3.03	2.93	0.18 ~ 0.23	0.2	93 ~ 97	95	203 ~ 256	228	0.41 ~ 0.57	0.45
L_1	280 ~ 210	35	35 ~ 50	40	2.42 ~ 2.79	2.60	0.08 ~ 0.20	0.12	78 ~ 87	90	246 ~ 329	297	0.26 ~ 0.35	0.31

全铁含量主要指次生风化产生的游离态铁(Fe^{2+} 和 Fe^{3+}),通常在土壤剖面次生粘化层的含量最高。因此,黄土中全铁含量与含铁硅酸盐矿物的风化解程度密切相关,因此它可以有效指示各个层位的成壤强度。在黄土高原成壤强度主要受东南季风带来的降水量变化控制,因而全铁含量变化也可以作为东南季风强度的指标。甘肃合水 MJY 剖面全铁含量,在古土壤层(S_0)的中上部 94 ~ 130cm 出现全铁含量的峰值(3.2 ~ 3.62%),在 T_s 和 L_0 中全铁含量值也相对比较高,而在马兰黄土(L_1)和过渡层(L_t)全铁的含量最低,平均在 2.60 ~ 2.93% 之间,这一点与磁化率的变化规律是一致的。

TOC 的高低在一定程度上反应了气候的温暖程度以及保存条件,剖面中有机碳的含量平均为 0.30% 左右,由于表土层作为现代的耕作层,深受人类活动的影响,故有机碳的含量最高,平均值为 0.54%,古土壤层含量也较高,在 0.25 ~ 0.39% 之间,反映当时生物成壤强烈。在马兰黄土层(L_1)含量极低,平均值仅有 0.12%,反映受到当时冰期干旱气候的限制,生物成壤作用非常微弱。在现代黄土层(L_0)中较高含量

的有机碳可能是由于残留的植物根系及枯枝落叶被分解以后的结果。

许多学者^[5-7]的研究结果认为,岩石在风化成壤过程中,Rb、Sr元素的地球化学行为有所不同。在风化淋溶过程中,由于Rb的离子半径较大,具有较强的被吸附性能,被粘土矿物吸附而保留在原位;相比之下离子半径较小的Sr则主要以游离态形式被地表水或地下水带走,造成风化产物中Rb/Sr比值升高,Rb/Sr大小实际上反映了降水量的变化,指示了成壤作用的强度。由于风化成壤作用强度的差别,使得MJY剖面中的Rb和Sr含量变化幅度也较大。例如,成壤作用相对较强的古土壤层(S_0)中Rb平均含量为 108mg kg^{-1} ,Sr平均含量为 157mg kg^{-1} ;而成壤作用极弱的马兰黄土层(L_1)中Rb平均含量为 90mg kg^{-1} ,Sr平均含量为 297mg kg^{-1} (表2),两者之间存在明显的差异。剖面中不同层位的Rb/Sr比值变化也十分明显,古土壤中Rb/Sr比值显著高于黄土层,这说明Rb/Sr比值对风化成壤作用具有有效的指示作用。

3 讨论和结论

黄土高原地处中国内陆,是东南季风和西北季风的一个交汇的前沿。通常在东南季风占优势、降水比较丰沛的时候,生物风化成土作用大于风尘堆积作用,随着土壤剖面的成壤继续,土壤层增厚。受淋溶作用和淋移作用的影响,土壤剖面有正常的向下的风化成土过程;同时,受风尘堆积作用的影响,土壤剖面又有向上的增长加厚过程^[8,9]。当西北季风占优势即于旱少雨时期,沙尘暴频繁发生,风尘堆积作用大于风化成土作用,生物风化成土过程大大减弱,剖面加速增长,形成的黄土层覆盖了前期的土壤剖面使之成为埋藏的古土壤。

根据目前通用新的全新世时段划分方案,由图1、图2、表2可以看出,在全新世早期(11 500~8 500 a B. P.),由于受东南季风所控制的降水仍较少和受西北季风所控制的降水仍较多的影响,虽然属于气温回升期,但仍较为干燥。此时,风尘堆积速率降低,并有一定的生物风化成土作用,这一时期土壤的发育,主要表现为边沉积边成壤,在土壤剖面Rb、Rb/Sr比值等指标与马兰黄土(L_0)相比较,变化均不甚明显,但磁化率和Sr的值却略高于马兰黄土(L_0),表现出过渡特点(表2)。在全新世中期(8 500~3 100 a B. P.),全球气候进入大暖期,东南季风长期控制黄土高原,气候温暖湿润,植被发育,沙尘暴很少发生,风尘堆积速率较低。由于气候的温暖湿润,成壤过程活跃,土壤微生物活动强烈,有机质富集;而降水的丰沛,致使土壤中的Sr遭到强烈的淋失,Rb/Sr比值急剧升高。在淋溶作用和淋移作用下,土壤剖面有正常的向下的风化成壤过程;同时,受风尘堆积作用的影响,土壤剖面又有向上的增长加厚过程,使得在黄土高原腹地发育着深厚的黑垆土。正是由于这一时期水土资源条件的优越,在黄土高原地区,我们祖先利用这个环境资源优化的时机,发展了原始定居农业,进入新石器时期^[10-12]。在对MJY剖面的研究过程发现,在160~170 cm土层中含桔红色、褐色陶片(1 mm)。这说明在新石器时代早期(约7 000aBP),即仰韶文化时期,人类已在合水开始活动,由于气候和环境条件良好,该地区形成和发展了定居农业文化。到全新世晚期,在距今3100多年前时,受全球气候变化的影响,东亚季风格局发生突变,西北季风势力大大增强,黄土高原进入了一个干旱缺水时期,地表植被开始退化,尘暴频繁发生,风尘堆积速率增高,土壤剖面加速增长,堆积形成的现代风成黄土(L_0)覆盖了前期的土壤剖面使之成为埋藏的古土壤,而目前地表土层或者耕作层都是 L_0 黄土的顶部。有学者^[13-15]认为全新世古土壤 S_0 与黄土 L_0 界面本身反映了季风格局的快速转变和黄土高原环境的恶化。根据合水MJY剖面中磁化率、全铁等指标的分布特征,也充分地说明了这一点。另外,由剖面中各项指标的分布特征,表明地表黄土层(L_0)仍然处于继续堆积过程,但从大约1 500 a B. P.开始,这种干旱气候和不良的风化成壤状况有所改善。

在古土壤层(S_0)和现代黄土层(L_0)的界面上88~86cm处发现了寺洼文化陶片,属原生活积物,根据考古学家的研究其校正的 ^{14}C 年代为3 250—2 520 a B. P.。寺洼文化属于游牧类型文化,从原始的农耕文化转向游牧类型文化,这种土地资源利用方式和文化形态的转变,实际上指示着水、土、生物资源(或者说土地资源)急剧地自然退化。由于季风的突变造成黄土高原地区严重干旱,导致环境恶化,生物风化作用严重受阻,致使以种植粟类的原始定居农业所依存的水分、热量、土壤条件已不复存在,原始农业解体,农耕文化受到彻底的破坏,而以长期维持低水平的简单畜牧经济为唯一发展途径。可能由于聚落的建设,使MJY土壤剖面在86~88 cm S_0 的顶部发生较大变化。古土壤 S_0 层面所代表的古地面为当时人类生活的地面。该层位土层质地疏松,时见灰烬、黑斑膜和木炭屑(1.2~1.5cm)及褐黑色烧土块,且土壤的各项理化指标均有较明显的突变(图1,2),这属非正常自然变化,而是人类活动对土壤发育影响的结果。

黄土高原全新世气候变化与成壤环境演变对人类农业活动产生了一定的影响。在全新世的大暖期(8 500 ~ 3 100 a B. P.), 气候温暖湿润, 水土资源条件优越, 先民在此种植粟、黍, 制作彩陶, 形成和发展了定居农业文化。但是从距今3100年前开始, 季风格局发生突变, 造成黄土高原地区严重干旱, 导致环境恶化, 水、土、生物资源严重退化, 限制了黄土高原地区的农作物种植, 而畜牧业随之发展起来, 在黄土高原腹地产生了游牧文化, 以寺洼文化为代表。

参考文献

- [1] 周明富, 周卫健, HEAD J. 最近三万年北庄村剖面地层学与¹⁴C测年[A]. 见: 刘东生主编. 黄土. 第四纪地质. 全球变化(第1集)[C]. 北京: 科学出版社, 1990, 12 ~ 19.
- [2] An Z S, Kukla G, Pater S C et al. Magnetic susceptibility evidence of monsoon variation on the Loess Plateau of central China during the last 130 000 years[J]. Quaternary Research, 1991, 36: 29 ~ 36.
- [3] Huang, C. C., Pang, J. L., Zhou, Q. Y., Chen, S. E. Holocene Pedogenic Change and the Emergence and Decline of Rain-fed Cereal Agriculture on the Chinese Loess Plateau[J]. Quaternary Science Reviews, 2004, 23(23-24): 2529 ~ 2539.
- [4] Huang, C. C., Zhao, S. C., Pang, J. L., Zhou Q. Y., Chen, S. E., Li, P. H., Mao, L. J., Ding, M. Climatic aridity and the dislocations of the Zhou Culture in the Southern Loess Plateau of China[J]. Climatic Change, 2003, 61(3), 361 ~ 378.
- [5] 田均良, 彭祥林, 等著. 黄土高原土壤地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1994, 87 ~ 109.
- [6] Gallet S, Jahn B-M, Torii M. Geochemical characterization of the Luochuan loess - paleosol sequence, China, and paleoclimatic implications[J]. Chem Geol., 1996, 133: 67 ~ 88.
- [7] 陈骏, 季峻峰, 等. 陕西洛川黄土化学风化程度的地球化学研究[J]. 中国科学(D辑), 1997, 27(6): 226 ~ 270.
- [8] 朱显谟, 祝一志. 试论中国黄土高原土壤与环境. 土壤学报[J], 1992, 29(4): 351 ~ 357.
- [9] 季耿善. 黑炉土的形成环境[J]. 土壤学报, 1992, 29(2): 113 ~ 123.
- [10] 王涛. 论甘青地区青铜时代文化和经济形态转变与环境变化的关系[A]. 见: 周昆叔, 宋豫琴主编. 环境与考古研究(第二辑)[C]. 北京: 科学出版社, 2000, 65 ~ 71.
- [11] 莫多闻, 宋豫琴, 李水城. 河南驻马店地区与甘肃葫芦河流域中全新世环境演变及其对人类活动影响的对比研究[A]. 见: 周昆叔, 宋豫琴主编. 环境与考古研究(第二辑)[C]. 北京: 科学出版社, 2000, 52 ~ 58.
- [12] 安成邦, 陈发虎, 冯兆东. 甘青地区中晚全新世植被变化与人类活动[J]. 干旱区地理, 2002, 25(2): 160 ~ 164.
- [13] 黄春长, 庞奖励, 张利平. 黄土高原环境恶化的自然背景研究[J]. 陕西师范大学(自然科学版), 2000, 28(3): 110 ~ 114.
- [14] 黄春长. 渭河流域3100年前的资源退化与人类关系演变[J]. 地理科学, 2001, (1): 29 ~ 35.
- [15] Huang, C. C., Pang, J. L., Li, P. H. Abruptly increased climatic aridity and its social impact at 3100a BP on the Loess Plateau of China[J]. Journal of Acid Environments, 2002, 52(1), 87 ~ 99.

Holocene Soil Formation and Environmental Change over the Central Part of the Loess Plateau

ZHOU Qun - ying¹, HUANG Chun - chang², PANG Jiang - Li²

(1. Department of Humanism and Environmental Sciences, Shaanxi Institute of Education, Xi'an 710061;

2. College of Tourism and Environmental Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract

Analyzing magnetic susceptibility, total Fe, TOC, Rb and Sr in cultivated soil of the MJY - a site in Heshui in Gansu province, the relation between the proceeding of pedogenesis and the climate change of Holocene was opened out. On this base, the condition of soil and land resource in the hinterland of the Loess Plateau and the influence with human activities were expounded. In the early stage of Holocene, the dust deposition was reduced because of the moderate and dry climate, and the biological weathering was beginning. In the mid - stage of Holocene, the climate got warmer and wetter, so the speed of pedogenesis was quicker than the dust deposition. With continued of soil layer thickening, paleosol layer (S_0) was formed. In last period, because the climate turned to worse, the dust - fall frequently happened, and then the speed of the dust deposition was quicker than the pedogenesis, which formed recent loess (L_0) covered soil (S_0) and made S_0 became the buried paleosol. The climate has been dry from the period Siwa Culture (3 250 - 2 520 a B. P.), which made environmental deterioration and soil degeneration, land use of arable farming was replaced largely by pastoral farming.

Key words: Loess Plateau; Holocene; soil formation; pedogenesis environment