

黄土与古气候演化

石建省 李铮华 魏明建 张玉芳 著
闫永定 童国榜 陈 云 张宗祜

地质出版社

· 北 京 ·

前 言

全球变化研究是对人类赖以生存的地球环境进行探讨过去、对比现在,并预测未来的工作。它要求把一定时期的古气候、古环境进行全球对比,以揭示其变化的区域性差异和驱动机制。要达到这一目的,首先需要以研究不同地点的沉积记录为基础。从时间尺度上看,第四纪,尤其是晚第四纪沉积记录是研究过去全球变化最有价值的信息库。50年代以来,科学工作者已经从深海沉积记录中获取了大量的有关参数。这些参数在理解全球变化方面具有非常重要的意义。但是,最近几十年的工作表明,中国黄土由于包含可以反映气候变化的黄土-古土壤序列,并具有分布面积广,厚度大,地层连续、完整等特点,使之成为全球变化研究中更为理想的地质记录。它不仅可以与深海沉积记录相对比,而且能够准确可靠地提供时空分辨率更高的全球变化信息,有能力确定和对比不同时间尺度的变化事件,从而认识过去环境演变的特征与机制,以及它们在评价预测未来变化中的作用。因此,在目前的全球变化研究中,已把中国黄土序列作为探讨第四纪古环境演化的关键性记录,并且开展了大量的工作,取得了许多令人瞩目的进展。这些进展主要包括,通过黄土高原不同剖面的对比,基本查明了 2.5 Ma B. P. 以来古气候的长周期性变化;在地层学研究的基础上,成功地识别与标定了若干第四纪地质事件;通过对黄土-古土壤序列的生物地层、磁性地层、化学地层、土壤特征与土壤组合等有关指标的气候解释,初步揭示了整个第四纪时期黄土高原古气候变化的时空格局。在与深海沉积记录相对比的同时,联系地球轨道三要素(岁差、偏心率和地轴倾斜度)的变化,进而理解第四纪古气候变化的驱动机制。我们认为,进一步工作的主要目标应逐步集中在短周期事件上,深入研究短时段的古环境及对环境要素的定量评价。

鉴于上述,我们承担的“中国黄土与全球变化”研究,旨在遴选典型的黄土剖面,从各个方面,包括岩石地层、生物地层、化学地层、磁性地层、年代地层等全方位地提取多源信息,并综合应用这些信息指标,在阐明黄土高原第四纪环境演变的基础上,重点对某些重要短时段的环境要素进行定量评价。

全部研究工作是在两个项目,即中国-比利时第四纪黄土合作研究;国家计委国土司专项补助第30届国际地质大会科研项目“中国黄土与全球变化”的基础上进行的。本专著是上述两项研究的成果。

野外工作是在1991年和1992年进行的,完成野外路线地质调查4500 km,第四纪地质调查面积107 km²,在陕西黄陵北巨头及店子湾测制了一条典型的黄土剖面、一条上更新统的辅助剖面及全新统剖面15条;采集各类样品2400余件。实验室工作进行了孢粉、岩石薄片、粘土矿物、土壤微形态、环境同位素、土壤化学、磁化率、古地磁、热释光等测试。室内综合研究工作在1993年至1995年期间完成。

中国-比利时黄土合作项目中方负责人为张宗祜教授,比方负责人为 R. Paepe 教授、比利时皇家自然科学研究所 P. Haesaerts 教授、比利时地球物理中心 J. Hus 教授。参加黄陵剖面野外测制的中方研究人员还有陈云、石建省、张玉芳、张洪平、郭盛乔、张静、童国榜、吴义

祥、李素珍、郑宏瑞、叶浩、何伯干,以及陕西省地质矿产局的王德潜、闫永定、王万林、闫华。
“中国黄土与全球变化”项目负责人为张宗祜、陈云,参加人员有石建省、李铮华、魏明建。

黄陵剖面样品的实验室分析工作由下列同志完成:

J. Hus、郑宏瑞(古地磁测定),何庆林(热释光测年),童国榜(孢粉分析),张玉芳(重矿物与古土壤微形态分析),周素文、贾艳琨(稳定同位素测试),J. Hus(磁化率测定)。

化学全分析工作由地矿部水文地质测试中心完成。

本专著撰写分工:

张宗祜,第一章;石建省、李铮华,第二章;童国榜、魏明建,第三章;魏明建,第四章;李铮华,第五章;陈云,第六章;张玉芳,第七章;石建省、张玉芳,第八章;闫永定,第九章;李铮华、石建省,第十章;李铮华,前言、结语。

全书由李铮华统编,最后由张宗祜修改定稿。全书英文摘要由邵时雄、唐洪才完成。全书的后期计算机打印排版工作由李政红完成。张静、何伯干、叶浩、王玉海、程丽蓉参加了样品整理及部分资料的计算机处理等工作。

本书是中国与比利时科学家以及全体工作人员通力合作的成果,在此谨向同仁们表示由衷的谢意。

著 者

1998年5月

目 录

前 言

第一章 引 论	1
第二章 黄土的岩石地层新记录、地层划分与对比	5
第一节 黄土的岩石地层新记录	5
第二节 黄土地层划分与对比	15
第三节 对黄土堆积速率的新认识	23
第三章 黄土中的孢粉遗存与第四纪环境变迁	26
第一节 黄陵地区第四纪孢粉植物群与环境演化	26
第二节 洛川地区 14 万年来的植被与环境演化序列	34
第三节 黄土高原古植被研究问题的讨论	41
第四章 黄土中的氧化铁与黄土高原第四纪古气候	44
第一节 黄土中全氧化铁的古气候意义	44
第二节 全氧化铁质量分数所记录的黄土高原第四纪古气候	50
第三节 结 论	55
第五章 黄土中的元素组分演化与第四纪古气候	57
第一节 黄陵剖面地层中元素组分的迁移与集聚	57
第二节 黄陵剖面元素组分演化的阶段性与古气候变迁	61
第三节 结 论	69
第六章 黄土的稳定同位素与过去环境变化	71
第一节 概 述	71
第二节 黄土中自生碳酸盐的碳、氧同位素组分	71
第三节 碳、氧同位素变化与古环境	74
第四节 结 论	78
第七章 黄土的重矿物特征及其古气候意义	80
第一节 黄陵北巨头剖面重矿物综合研究	80
第二节 重矿物的古气候意义	83
第八章 黄土的古土壤特征及其古气候意义	85
第一节 黄陵剖面古土壤的显微结构特征及其古气候意义	85
第二节 黄陵剖面古土壤类型及其古气候意义	90
第九章 黄土的粒度组成及其沉积环境意义	98
第一节 黄陵剖面黄土堆积的粒度组成总特征	98
第二节 黄土层、古土壤层、结核层的粒度特征	100
第三节 粒度组成的沉积环境意义	103
第十章 黄土的古气候记录与第四纪气候旋回	107

第一节 黄陵剖面的古气候记录分析.....	107
第二节 古气候记录与第四纪气候旋回.....	111
结 语.....	116
参考文献.....	118
摘 要.....	121
图 版.....	131

Contents

Preface

Chapter One Introduction 1

Chapter Two Newly Found Lithostratigraphic Records, stratigraphic division and correlation in the Loess of China 5

1. Newly found lithostratigraphic records in the loess 5
2. Stratigraphic division and correlation of the loess 15
3. New understanding of the loess accumulation rate 23

Chapter Three Sporopollen Remains in the Loess and the Related Quaternary Environment Shift 26

1. Quaternary palynoflora and paleoenvironmental evolution
in Huangling area 26
2. Vegetation and environmental evolution sequence in Luochuan
area since 0.14 Ma B. P. 34
3. Discussion on paleovegetation of the Loess Plateau 41

Chapter Four Ferric Oxide and Quaternary Paleoenvironment on the Loess Plateau 44

1. Paleo climate significance of the total ferric oxide in the loess 44
2. Quaternary paleoenvironment recorded by the percentage of the total ferric
oxide mass 50
3. Conclusions 55

Chapter Five Element Components Evolution and Quaternary Paleoclimate in the Loess 57

1. Movement and concentration of element components in strata
of Huangling profile 57
2. Interval of element components evolution by stages and paleoclimate evolution
in Huangling profile 61
3. Conclusions 69

Chapter Six Stable Isotopes with Paleoenvironmental Shift in the Loess 71

1. Outline 71
2. Isotopes of carbon and oxygen in autogenic carbonate in the loess 71
3. Variation of carbon and oxygen isotopes and the related paleoenvironment ... 74
4. Conclusions 78

Chapter Seven Heavy Minerals Features and the Significance of Paleoclimate in the loess of China 80

1. Synthetic study of the heavy minerals from Beijutou profile in Huangling area	80
2. Paleo climatic significance of heavy minerals	83
Chapter Eight The Loess Paleosol Characteristics and the Paleoclimate	85
1. Microtexture features of paleosol and the paleoclimate in Huangling profile	85
2. Paleosol types and the paleoclimate significance in Huangling profile	90
Chapter Nine The Loess Granulometric Composition and the Significance of Sedimentary Environment	98
1. General characteristics of granulometric composition in the loess accumulation in Huangling profile	98
2. Granulometric characteristics of the layers of loess, paleosol and nodule	100
3. The significance of sedimentary environment of granulometric composition	103
Chapter Ten Paleoclimate Records and the Quaternary Climatic Cycle in the Loess	107
1. Analysis of paleoclimate records at Huangling profile	107
2. Paleoclimate records with Quaternary climate cycle	111
Conclusions	116
References	118
Abstract	121
Plates	131

第一章 引 论

中国黄土是最丰富的第四纪时期地质环境演化的信息库。它记录了 250 万年以来中国大陆的古气候、新构造运动、古地理等多方面的变化过程和重大地质事件;同时,它也记录了与全球性古气候、古环境演化进程同步发展的全过程。因此,中国黄土成为记录全球变化的最佳地质信息标志。中国黄土作为全球变化研究的地质体,分布范围广,出露的地层连续而完整,跨越的第四纪地质时代是最长的(整个第四纪时期)。对于研究者来说,它易于观察,便于获取必要的样品,可以多次反复进行深入的研究,特别是中国黄土堆积中成序列发育的古土壤层,记录了第四纪初以来的古气候、古环境的演变过程。同时,它又有广阔的区域性分布特点,在时间上和空间上都为科学工作者,特别是对全球变化研究感兴趣的科学工作者们提供了非常难得而又十分有益的条件。所以,国内外的研究者,在黄土高原对中国黄土做了大量的工作,使中国黄土研究的深度不断提高,不断获得新的认识。尤其是 80、90 年代,中国黄土已成为国际上最热点的研究课题。

在一个多世纪以前,德国地质学家李希霍芬和俄国地质学家奥布鲁切夫,在中国西北进行地质考察时,提出了黄土的风成说,即黄土是由于风的吹扬作用而形成的以粉土为主的堆积物。但是,在当时,人们对中国黄土高原的“黄土”尚未形成比较明确的地层学概念,基本上把黄土局限于所谓的“马兰黄土”,它实际上是黄土高原的最表部的黄土堆积。20 世纪 50 年代以后,我国的黄土工作者,对黄土高原的黄土进行了多方位研究,使黄土的定义在地层学上取得了比以往更为明确的共识。特别是通过对黄土中古土壤的识别及其区域性分布规律的了解,使中国黄土在形成分布和地层学上的意义有了更加深入的认识。通过对黄土地质年龄测定的研究,为确定黄土的形成年代提供了比较确切的科学依据,而且在我国黄土研究者的共同努力下,基本上已取得了广泛的共识,使我国黄土研究,在空间上和时间范畴上的认识取得了空前的成就。这些工作,为近十几年来中国黄土与全球变化的研究奠定了十分重要的科学基础。

中国黄土与全球变化的研究,当前基本上存在两种观点和研究途径。

一种观点认为,中国大陆受太平洋东南季风和印度洋西南季风活动的巨大影响,东亚季风环境在相当程度上控制了中国中部和东部古气候和古环境的变迁。对我国而言,全球变化研究,首先要研究控制中国环境的古季风变迁的动力学机制^[9]。中国北方从西到东是一个典型的干旱—半干旱—半湿润地带,大气粉尘物质可视为这一区域中沙漠—黄土—平原堆积—海洋沉积物所构成的链条的示踪物。青藏高原对古季风的强度、方向有着明显的影响。夏季和冬季季风强度的消长,对环境有着完全相反的效应。黄土中黑垆土(S_0)、第一层黄土(L_1)及第一层古土壤(S_1)可作为我国乃至东亚季风区最近 0.13 Ma B. P. 的气候地层划分的对比标尺。总之,这一观点是以古季风的研究作为中国黄土高原古环境变迁研究的途径。在这方面已取得了大量的研究成果,对东亚季风在地质历史时期的变迁,如运动方向、强度和湿度等的变化都有着相当深入的对比研究,达到了较高的学术水平。

另一种观点认为,黄土堆积是第四纪时期最丰富的地质信息库。它不仅铭刻着其形成过程的“外因”环境因素(气候因素)的烙印,而且还包含着它形成时的“内因”环境因素(包括所在地古地理环境中的多种地质过程、地球化学、新构造运动等因素)的记录。这种“内因”的环境因素,从某种意义上说,能够更加完整和全面地反映黄土形成过程和演化过程的环境特征。换句话说,黄土的形成和演化是与其存在的古地质环境演化过程融为一体的,它既是其所在的古环境中的一部分,又是古环境演化过程的产物。黄土与其所在的古环境(如古地貌、古水系、新构造运动、非黄土沉积物以及环境地球化学过程等)紧密相关。因此,中国黄土与全球变化的研究应当把上述的黄土与其形成过程中的古环境的各个方面作为一个整体系统来考虑,研究黄土中蕴藏着的反映古气候、构造、地表非黄土堆积、地球化学及古地理环境的诸多地质信息。

中国黄土地层学的研究,过去做过大量的工作,特别是近 20 年来,对中国黄土高原黄土堆积的地层学研究,取得了很大的进展。虽然在地层的划分上尚存在不同意见,但所有中国黄土的研究者们对黄土高原黄土堆积的黄土-古土壤序列的基本层序和关系,大体上有了比较一致的看法。尚存在的问题,主要是在黄土地层划分中岩石地层与年代地层的对比上尚有不同看法。应当指出,现在我国黄土研究取得的一个很大成绩是,有了比以往任何时候都更加明确的重要的黄土地层界限,像黄土堆积的下限界限,以及其内部分层的岩性、地质年代及磁性地层的界限,都比过去要清楚得多。我们认为,除这一重要的基础工作之外,还应有另一方面的地层学研究内容,如各单层层序在空间上和时间上的相互关系及其形成的环境因素,各单层的形成环境和演化过程等。在地层学基础上对这些方面进行探讨,是研究古环境变迁和过去全球变化的非常重要的内容。

多年来,我们在研究黄土高原黄土堆积的地层区域性特点的基础上,取得了以下几点认识:

(1) 黄土-古土壤堆积序列。从宏观上来看,黄土高原的地层似乎是连续堆积的,但从各单层层序间的接触关系看,却又存在着多种不同形式的间断。因此,可以认为,黄土堆积(在整个第四纪时期)既是连续的,局部又有侵蚀间断。

(2) 黄土高原分布的黄土堆积与其下伏地层之间的接触关系是十分复杂的。概括起来有以下几种情况:① 最为普遍的是厚层黄土堆积地层的底部与第三纪红土相接。早更新世黄土与第三纪红土的接触关系,仔细观察,可普遍见到有两种情况,其一是早更新世黄土覆盖在第三纪红土的风化带之上;其二是早更新世黄土的底部以一种红土与黄土岩性混杂的堆积为过渡层覆于红土之上。这可以表明,第三纪末黄土堆积形成初期的地质环境的变化。② 早更新世黄土下部为河流相沉积或湖相沉积,并与第三纪湖相沉积相衔接。这种接触关系在黄土高原有相当范围的分布,特别是在一些规模大小不等的古盆地内普遍可见。

(3) 黄土堆积地层层序间的关系及其与前第四纪地层的关系,依其存在的古地形高程和地貌部位不同而有差别。例如,在古盆地地区的中部堆积的厚层黄土地层,在剖面上的层序总规律是,地表为年代最新的黄土,随深度增加逐步出露晚更新世、中更新世黄土,最下为早更新世的黄土堆积,再下为第三纪或更老地层。然而,在古盆地的边缘地带(现在都是黄土高原内的一些古分水岭,是高程较高的地形)出露的黄土,其堆积地层层序关系正好与上述地区相反,即在古分水岭区(一般都是古剥蚀面)高程最高的地方出露基岩及其风化带或第三纪地层;随着地形变低,地面高程减小,逐次出露的黄土地层,首先是早更新世的黄土,然

后是中更新世和晚更新世黄土堆积。上述这种情况,充分说明黄土的堆积层序与古地理、地貌条件有密切关系。因此,黄土地层学的研究,必须考虑到这一区域性实际情况。这一情况恰好说明了黄土堆积的形成过程与其所发生和存在的古地质环境是不可分割的,是在古地质环境演化的统一过程中形成和存在的。

(4) 总的看来,中国黄土堆积有着极其明显的地区性差异和不同地质时代上的区别,从而构成了时空分布上不同区域性特点的格局。在中国黄土及全球变化研究中,在考虑黄土共性的同时,必须考虑它的区域性差异这一现实。

在黄土高原内,第三纪形成的规模最大的古沉积盆地有 3 个:一是渭水盆地,位于宝鸡以东,秦岭以北;二是陕北盆地,位于渭水盆地以北,以黄龙山—宜君东西向延伸的基岩山地(俗称北山)为界,其西以子午岭为界与陇东盆地相邻;三是陇东盆地,位于子午岭与六盘山之间,其南与渭水盆地相接。其中,陕北盆地又可分为南北两部分,南部为洛川盆地,北部为延安盆地。南北两部分的分界在延安与甘泉之间的湫沿山,为东西向延伸的高地形。上述这 3 个大型的黄土堆积盆地,在不同空间尺度上有着不同的地质背景和地质发育历史,并同时反映在地层结构、岩性特征、地球化学和古地理等方面。黄土高原黄土研究中的许多重要的有代表性的黄土剖面,大部分分布在这 3 个大沉积盆地范围内。这 3 个大盆地组成了中国黄土高原的主体。当然,在黄河上游及其支流流域内,仍然有一些构造和沉积盆地,其中分布着巨厚的黄土堆积。它们更是由于其地质背景和古环境演化历史的各自不同,而形成了不论在厚度上,地层层序上,以及岩性、古土壤特征上等方面的明显差异。例如,兰州以北黄河左岸的九洲台黄土,地层厚度可达 300 余米,位于厚层河流相卵砾石层之上,而黄土堆积底面高出黄河水面 230 m^[8]。但在兰州市的南面,即黄河的右岸,黄土堆积的连续厚度达 400 余米,而黄土层的底部与下伏的河床相卵石层(厚度>20 m)相接,黄土底限高程却低于现代黄河的河床 20 多米(即在现代黄河河床以下)。黄土高原以东、河南荥阳以北的黄河南岸(孤柏嘴),晚更新世黄土堆积厚度达 80 余米,其中未见有古土壤层发育,第一层古土壤的层位位于此厚层晚更新世黄土之下。诚如以上所述,各区的黄土堆积,因其地质差异显著而各具地区性特色。

本专著论述的陕西黄陵黄土剖面的地理位置,在陕西省黄陵县城以东,洛河的右岸黄土塬上。在地貌上,黄陵剖面所在的塬与洛河对面相望的洛川塬(即国内外熟知的洛川黑木沟剖面所在的黄土塬),实属被洛河分开的同一黄土塬。它们在古地理环境中,均位于洛川沉积盆地的中部,黄陵剖面以南,地形高程逐渐抬高。其南在宜君县城至哭泉间为分水岭地形,地表广泛出露二叠系灰色砂岩及灰黄色砂岩、页岩,基岩上部可见厚层(数米)的富含钙质成分的古风化壳。自此分水岭向北,即向黄陵剖面所在处,地形面向北倾斜,沿地面倾斜方向依次出现的地层为第三纪红土、早更新世黄土,然后是中更新世和晚更新世黄土,全新世黄土超覆各地层之上。但在黄陵以东黄土塬及洛川塬的黄土地层的层序,则是第三纪红土及早更新世黄土出露于被洛河支流切割的深切沟谷之底部,自沟谷底部向上至塬面才依次出露中更新世及晚更新世黄土及全新世黄土。

黄陵剖面黄土层序出露得最清楚,连续性也非常好,尤其是第 15 层黄土以上的层序最为清晰。因此,黄陵剖面是一个在黄土高原非常难得的较完整的黄土剖面。从大面积完整露头的出露和各层古土壤剖面发育完整的条件来讲,这是迄今为止在黄土高原内发现的较好的一个黄土地层剖面。对黄陵剖面多方面的系统研究,特别是对古土壤层的土壤发生发育过

程等方面的研究,取得了与黄土高原形成环境有关的一些新认识。同时,也揭示出一些新的有待进一步深入研究的问题。总之,通过这项工作,使我们更加深刻地体会到黄土高原还有许多新的问题有待今后不断地深入研究,有待更多的研究者从黄土高原这个蕴藏着第四纪以来古环境演化过程和重大地质事件的丰富信息宝库中去获取人类需要的科学知识。

第二章 黄土的岩石地层新记录、 地层划分与对比

第一节 黄土的岩石地层新记录

80年代中后期,国内地质学家刘东生、王永焱、张宗祜、安芷生等和国外学者 N. W. Rutter, G. Kukla, F. Heller 等分别独立或协作对典型黄土剖面的地层学特征进行了新一轮的综合研究。特别是古地磁测试方法在黄土地层研究中的应用,各种先进测年方法的应用及黄土的碳、氧同位素测定等促进了我国黄土地层学研究的进展,加深了对黄土形成时期古气候变化规律的认识,从而对我国黄土气候地层学的研究起到了推动作用。作为这一轮工作的主要成果,对洛川、宝鸡、西峰、平凉等典型黄土剖面的高分辨率气候记录的研究及其与深海记录对比方面取得了很大的突破。但过去的研究也存在由于剖面露头情况不好和测量手段不严密造成的厚度和层序不准确等问题,特别是对黄土序列中古土壤的地层学及其古气候意义尚有待深入探讨。

研究黄土高原地区过去气候环境演化,仍需要以研究不同地点的沉积记录为基础,以便通过岩石地层、生物地层、古土壤地层、化学地层、磁性地层、年代地层等方面研究,从中提取有关环境变化的信息,进行综合指标的分析,为区域性地层对比及环境演化研究提供重要依据。鉴此,遴选典型的黄土剖面是首要的工作。剖面应能完整地反映第四纪不同时期的黄土堆积,应选择露头比较好、地貌部位确切的地点,以便观察到黄土堆积的岩性连续变化情况,并采集样品进行多元分析。

1991~1992年间,我们在黄土高原地质调查工作过程中,在陕西省黄陵县田庄乡北巨头村西北侧(图2-1,2-2)发现一个地层连续完整的露头剖面。该剖面自塬面向下至冲沟的沟底,依次出露了全新统、晚更新统、中更新统及早更新统黄土地层,其下出露了第三纪(N)红色粘土层及其风化壳。整个剖面由北巨头剖面(主剖面 and 两个辅助剖面)、店子湾剖面、新公路路堑剖面等露头组成(图2-2)。该剖面的突出特点是,主体剖面在一个约90 m高差,近于垂直(约80°)的人们可以触及的陡壁上,自塬面而下出露了黄土-古土壤序列中 S_0-S_{15} 各层,即黄陵主剖面的上部(图中A所示位置);黄陵主剖面的下部(图中B所示位置)是沿沟底向沟口下游方向,于两侧沟坡上连续大范围出露 S_{15} 以下至 L_{26} 层的黄土-古土壤地层;在冲沟下游出口与洛川的一级支沟交汇处,上述地层直接覆盖于第三纪红土层的风化壳上。这是到目前为止在黄土高原所发现的在一个单一垂直剖面上记录厚度最大、记录内容最详细完整的剖面。辅助剖面位于沟的西侧,距主剖面约300 m。该剖面以其连续性和完整性的特点,以及优越的交通环境和便利的工作条件而成为黄土塬区黄土堆积序列的又一代表性剖面。黄陵剖面的野外岩石地层记录如下:

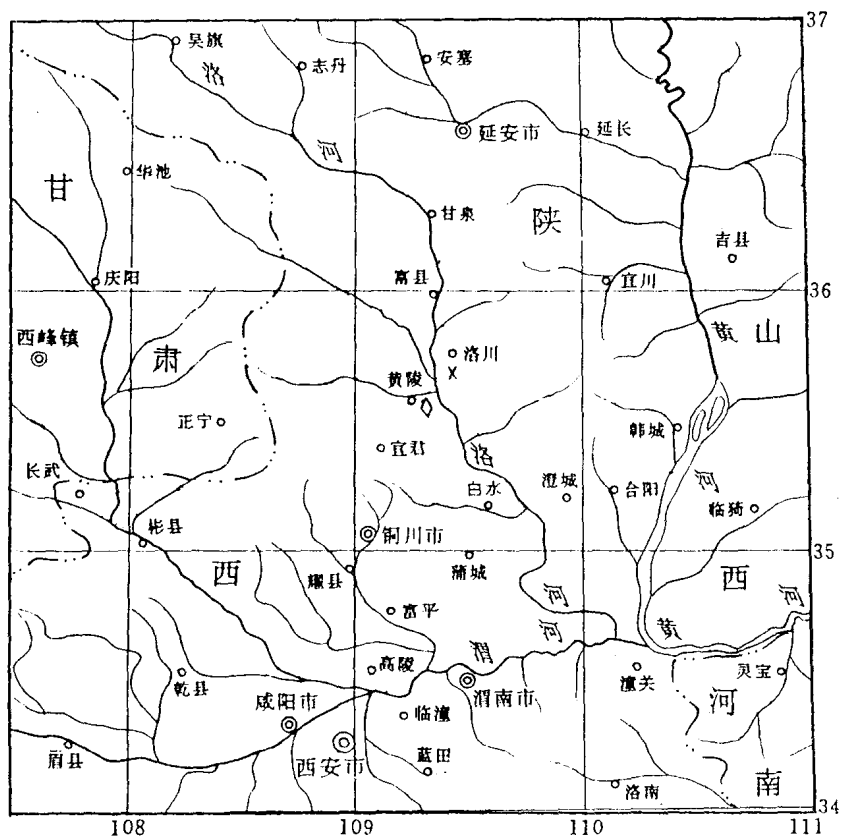


图 2-1 黄陵工作区的地理位置

Fig. 2-1 Geographic location of Huangling working area

“◇”工作区位置；“×”洛川黑木沟黄土剖面位置

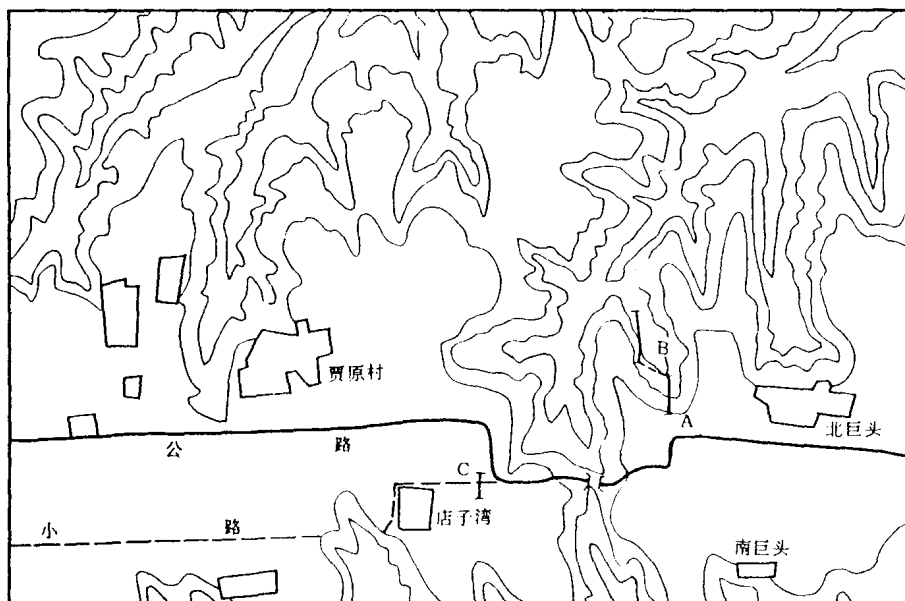


图 2-2 黄陵主剖面及店子湾辅助剖面的位置

Fig. 2-2 Locations of Huangling main section and Dianziwan supplementary section

A—黄陵主剖面上部；B—黄陵主剖面下部；C—店子湾辅助剖面

一、北巨头剖面

1. 黄陵主剖面 I (见图 2-3, 图版 I)

垂直深度 91.0 m, 自上而下记录了 15 个第一序列黄土-古土壤旋回(30 个单元), 包含共 94 个野外自然分层。

—土壤单元 S_0 (表土)

S_0 (A_p 层) 暗褐色壤土(10YR 4/3), 结构疏松, 具碎粒结构, 有较多植物根茎 0.00~0.25 m

S_0 (B 层) 暗褐色壤化黄土(10YR 4/3), 具有中等程度团粒状结构和疏松的柱状结构, 结构面上常有腐质膜, 虫孔发育(蚯蚓和昆虫的孔穴), 含零星不成层、直径 0.3~1 cm 的钙核, 并含砖瓦和陶瓷片 0.25~0.90 m

—黄土单元 L_1

L_{1-1} 褐色黄土(10YR 5~4/3), 虫孔常见, 在裂隙中有分散的假菌丝体和一些 $CaCO_3$ 膜 0.90~6.25 m

L_{1-1} 褐色黄土(10YR 5~4/3), 具分散的孔洞和更强的生物扰动 6.25~6.60 m

L_{1-1} 褐色黄土, 特征同上部的 L_{1-1} 6.60~7.60 m

L_{1-2} 褐色黄土(7.5~10YR 5/3), 上部有分散的孔洞 7.60~9.90 m

L_{1-3} 淡褐色黄土(10YR 6/3), 具分散的团粒结构, 有虫孔发育 9.90~12.00 m

—古土壤单元 S_1

S_1 (A₁ 层) 暗褐色壤土(10~7.5YR 4/2~4), 呈松散一团粒结构, 有假菌丝斑点, 无粘土膜, 但某些孔隙中有粘土出现 12.00~12.50 m

S_1 (A₁ 层) 暗褐色壤土, 具有与上述类似的结构, 底部假菌丝体丰富 12.50~13.00 m

S_1 (B₃' 层) 暗褐色壤土(7.5YR 4/2~4), 与上面壤土相似, 有大量的钙质结核(±4 cm) 13.00~14.10 m

—黄土单元 L_2

L_{2-1} (Ca 层) 浅黄褐色黄土(10YR 6/4), 具有丰富的假菌丝体和钙质结核(±5 cm) 14.10~15.00 m

L_{2-1} 浅黄褐色黄土(10YR 6~5/4), 具有分散的虫孔 15.00~16.55 m

L_{2-2} 黄褐色黄土(10YR 5/4), 在底部有被黄土充填的孔洞 16.55~16.90 m

L_{2-3} 黄褐色黄土, 具有分散的虫孔 16.90~17.90 m

—古土壤单元 S_2

S_{2-1} (B₁ 层) 褐色至黄褐色壤化黄土(10YR 5/3~4), 具疏松的团粒结构 17.90~18.25 m

S_{2-1} (B₂' 层) 暗褐色壤土(7.5YR 4/4), 中等块状和柱状结构, 极少粘土膜 18.25~18.90 m

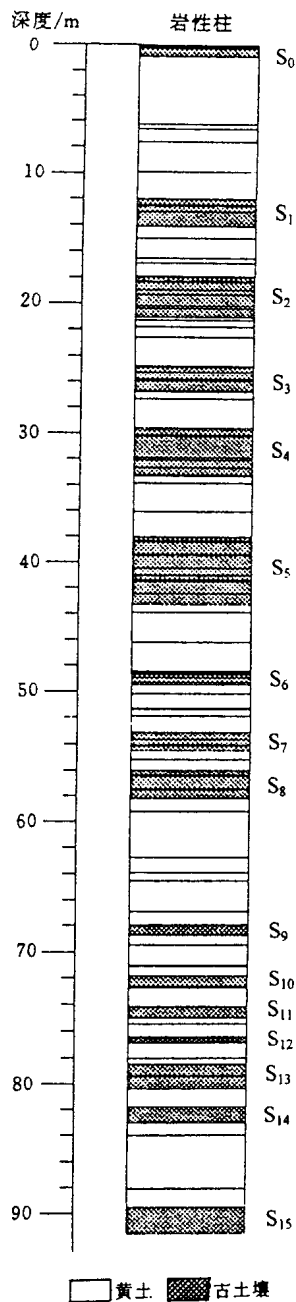


图 2-3 黄陵主剖面 I 地层柱状略图
Fig. 2-3 Stratigraphic column sketch of Huangling main section

- S₂₋₁(B₃'层) 深褐色壤土,具有上述特征,但发育稍差 18.90~19.25 m
- S₂₋₂(Ca层) 褐色壤化黄土(10YR 5/3~7.5YR 5/4),具小虫孔,上部具钙质结核(5~10 cm)和孔洞 19.25~20.10 m
- S₂₋₃(B₁层) 褐色壤土,具有一些黄色小斑点 20.10~20.35 m
- S₂₋₃(B₂层) 块状深褐色壤土(7.5YR 4/4),有极少量的假菌丝体分布 20.35~21.00 m
- 黄土单元 L₃
- L₃₋₁(Ca层) 黄褐色壤化黄土(10YR~7.5YR 5/4),具有丰富的假菌丝体和钙质结核(10~15 cm) 21.00~21.25 m
- L₃₋₁(B₁层) 褐色至黄褐色壤化黄土(10YR~7.5YR 5/4),具有松散一团粒状结构,并有一些小黄斑 21.25~21.75 m
- L₃₋₂(Ca层) 黄褐色黄土(10YR 5/4),有灰色和褐色斑点 21.75~22.50 m
- L₃₋₂ 黄褐色黄土(10YR 5/3~4),均质,具少量被 CaCO₃ 充填的虫孔 22.50~24.70 m
- 古土壤单元 S₃
- S₃₋₁(B₁层) 褐色壤化黄土(7.5YR 5/4~6),具有一些被浅黄色黄土充填的虫孔 24.70~25.20 m
- S₃₋₁(B₂层) 块状暗褐色壤土(7.5YR 4/4),具丰富的假菌丝体,下部的虫孔被 CaCO₃ 所充填 25.20~25.75 m
- S₃₋₁(Ca层) 与上述壤土相同,但具有 CaCO₃ 结核(3~5 cm) 25.75~25.85 m
- S₃₋₂(B₁'层) 块状暗褐色壤土(7.5YR 4/4~5/6),具有分散状较丰富的假菌丝体 25.85~26.70 m
- 黄土单元 L₄
- L₄(Ca'层) 浅黄褐色黄土(10YR 6/4),具丰富的假菌丝体、大块的 CaCO₃ 结核及一些被褐色壤土充填的孔洞 26.70~27.25 m
- L₄ 浅褐色黄土(7.5~10YR 6~5/4),有丰富的分散状假菌丝体和一些 CaCO₃ 结核(2~3 cm) 27.25~29.50 m
- 古土壤单元 S₄
- S₄₋₁(A₁层) 褐色壤化黄土(7.5YR 5/4),松散的团粒结构,具小黄斑,并具有相当丰富的分散状假菌丝体和被CaCO₃充填的虫孔 29.50~30.10 m
- S₄₋₁(A₁'层) 块状深褐色壤土(7.5YR 4/2~4),具分散状假菌丝和大量被 CaCO₃ 充填的虫孔,越往底部,结构越趋于松散一团粒结构 30.10~31.80 m
- S₄₋₂(B₁'层) 红褐色壤土(5YR 4/3~4),松散的柱状结构,有零星的粘土膜(5YR 3/4) 31.80~32.00 m
- S₄₋₂(B₂'层) 红褐色壤土(5YR 4/4),具有发育很好的细柱状结构和暗褐色的粘土膜,充填着 CaCO₃ 的虫孔向下延伸至 32.30 m 32.00~32.60 m
- S₄₋₂(B₃'层) 褐色至红褐色壤土(5~7.5YR 4~5/4),具中等一粗柱状结构,中等发育的褐色粘土膜,柱状结构的表面有 CaCO₃ 出现 32.60~33.20 m
- 黄土单元 L₅
- L₅₋₁(Ca'层) 褐色至黄褐色黄土(7.5~10YR 5/4),有丰富的假菌丝体和较大的 CaCO₃ 结核 33.20~33.75 m
- L₅₋₁ 褐色至黄褐色黄土(10YR 5/3~4),有散布的小块 CaCO₃ 结核(±5 cm) 33.75~35.95 m
- L₅₋₂ 褐色壤化黄土(7.5YR 5/4),有较丰富的灰褐色壤土小斑点 35.95~37.90 m
- 古土壤单元 S₅

S ₅₋₁ (B ₁ 层)	块状褐色至暗褐色壤土(7.5YR 4~5/4),底部存在假菌丝体	37.90~38.25 m
S ₅₋₁ (B _{2t} 层)	红褐色壤土(5YR 4/3),具有细柱状一块状结构和发育很好的深红灰色粘土膜(5YR 4/2),充填着 CaCO ₃ 的虫孔和假菌丝体直到 39 m 处仍有出现	38.25~39.30 m
S ₅₋₁ (B ₃ 层)	褐色至暗褐色壤土(7.5YR 4~5/2~4),具有中等一粗柱状结构,在结构面上有发育良好的黄红色粘土膜(5YR 4/6)	39.30~40.30 m
S ₅₋₂ (B _{2t} '层)	褐色至暗褐色壤土(7.5YR 4/2~4),具细柱状一块状结构,结构面上有黄红色粘土膜	40.30~40.90 m
S ₅₋₂ (B ₃ '层)	褐色至暗褐色壤土(7.5YR 4/4),中等一粗柱状结构,有黄红色粘土膜	40.90~41.25 m
S ₅₋₂ (Ca'层)	褐色壤土(7.5YR 5/4),具有丰富的假菌丝体和大块的钙质结核(±10cm)	41.25~41.40 m
S ₅₋₃ (B _{2t} "层)	褐色至暗褐色壤土(7.5YR 4/2~4),具细柱状一块状结构,有黄红色粘土膜(5YR 4/6),在柱状结构面上有发育良好的 CaCO ₃ 膜	41.40~42.30 m
S ₅₋₃ (B ₃ "层)	深褐色壤土(7.5YR 4~5/4~6),中一粗柱状结构,其余特征如上述,但发育较弱	42.30~43.15 m

—黄土单元 L₆

L ₆₋₁ (Ca"层)	褐色到黄褐色黄土(10YR 5/3~4),有丰富的假菌丝体和大块的 CaCO ₃ 结核	43.15~43.75 m
L ₆₋₁	褐色至黄褐色黄土,具有分散状假菌丝体和若干 CaCO ₃ 结核层	43.75~46.10 m
L ₆₋₂	褐色—深褐色壤化黄土(7.5YR 5/4~6),有极少量假菌丝体斑点,在本层的下部有一大块 CaCO ₃ 结核层	46.10~48.30 m

—古土壤单元 S₆

S ₆ (B ₁ 层)	块状褐色—暗褐色壤化黄土(7.5YR 5~4/4),有假菌丝体斑点	48.30~48.50 m
S ₆ (B ₁ '层)	褐色—暗褐色壤土,团粒一块状结构(上无粘土膜),有分散状假菌丝体和被 CaCO ₃ 所充填了的虫孔	48.50~48.75 m
S ₆ (B ₂ '层)	暗褐色壤土(7.5YR 4/4),小块状结构,上有发育程度不一的暗褐色粘土膜;有假菌丝体和被 CaCO ₃ 充填的虫孔	48.75~49.15 m
S ₆ (B ₃ '层)	暗褐色壤土(7.5YR 4/4),疏松的块状结构(上面无粘土膜),有少量被 CaCO ₃ 充填的虫孔和一些钙质结核(±5 cm)	49.15~49.30 m

—黄土单元 L₇

L ₇₋₁ (Ca'层)	褐色—黄褐色黄土(10YR 5/3~4),富含假菌丝体,底部为大的钙质结核	49.30~50.00 m
L ₇₋₁	褐色—黄褐色壤化黄土(7.5~10YR 5/4),有少量分散状假菌丝体	50.00~51.10 m
L ₇₋₂ (Ca层)	褐色壤化黄土(10YR 5/3),假菌丝体丰富	51.10~51.20 m
L ₇₋₂ (Ca层)	褐色壤化黄土(10YR 5/3),分散有大块的 CaCO ₃ 结核	51.20~51.70 m
L ₇₋₂	褐色壤化黄土(7.5YR 5/4),具有分散的假菌丝体	51.70~52.90 m

—古土壤单元 S₇

S ₇ (B ₁ 层)	褐色—暗褐色壤土(7.5YR 5~4/4),松散的团粒结构(无粘土膜),具有大量被 CaCO ₃ 充填的虫孔和分散状的假菌丝体	52.90~53.45 m
S ₇ (B ₂ '层)		53.45~53.90 m
S ₇ (B _{2t} '层)		53.90~54.30 m

—黄土单元 L₈

- L₈₋₁(Ca'层) 褐色—深褐色黄土(7.5YR 5/4~6),块体结构,具有大块的 CaCO₃ 结核
54.30~55.00 m
- L₈₋₂ 褐色壤化黄土(7.5YR 5~4/4),有少量分散的菌丝体
55.00~55.80 m
- 古土壤单元 S₈
- S₈(B₁层)
55.80~56.25 m
- S₈(B₂层)
56.25~57.30 m
- S₈(B_{2t}' + B₃'层) 暗褐色壤土(7.5YR 4/4),块状—柱状结构,有少量的褐色粘土膜,往下颜色
趋于黄褐色;富含被 CaCO₃ 充填的虫孔,分散有小块的 CaCO₃ 结核(2~5 cm)
57.30~58.00 m
- 黄土单元 L₉
- L₉₋₁(Ca'层) 浅黄色黄土(10YR 6/4),具分散的假菌丝体,上部 15cm 尤为丰富
58.00~59.00 m
- L₉₋₁ 褐色—黄褐色黄土(10YR 5/3~4),有分散的假菌丝体
59.00~62.50 m
- L₉₋₂ 褐色—暗褐色壤化黄土(7.5YR 5~4/4),块体结构,有少量分散状假菌丝体
62.50~63.65 m
- L₉₋₃(Ca 层) 褐色—黄褐色黄土(10YR 5/3~4),具丰富的假菌丝体和大块的 CaCO₃ 结核
63.65~64.30 m
- L₉₋₃ 褐色—黄褐色黄土,均质,在下部有几层 CaCO₃ 结核层
64.30~66.70 m
- L₉₋₄ 块体结构,褐色—深褐色壤化黄土(7.5YR 5/4~6),由上而下颜色变深
66.70~67.70 m
- 古土壤单元 S₉(B₂ + B₃)
- 红褐色壤土(5YR 4/4),块状结构较发育,上有少量的粘土膜(主要是在底部),有分散状的假菌
丝体和被 CaCO₃ 充填的虫孔出现,主要出现在下部,在层底部有小块 CaCO₃ 结核出现
67.70~68.50 m
- 黄土单元 L₁₀
- L₁₀(Ca 层) 褐色黄土状沉积物(7.5YR 5/4),有几个 CaCO₃ 结核条带出现,少量假菌丝体呈斑
点状出现
68.50~69.20 m
- L₁₀ 块体结构,褐色—暗褐色壤化黄土(7.5YR 5~4/4),有分散状假菌丝体出现
69.20~70.75 m
- L₁₀ 特征同上,但有被 CaCO₃ 和假菌丝体充填的小虫孔
70.75~70.85 m
- L₁₀ 块状结构,褐色—深褐色壤化黄土(7.5YR 5/4~6)
70.85~71.60 m
- 古土壤单元 S₁₀(B 层)
- 渐变到暗褐色壤化黄土(7.5YR 4/4),中等团粒—块状结构,发育程度不一;有分散状假菌丝体
和黄色斑点出现
71.60~72.40 m
- 黄土单元 L₁₁
- L₁₁(Ca 层) 分散的大块的 CaCO₃ 结核被胶结起来
72.40~72.50 m
- L₁₁ 褐色—深褐色壤化黄土(7.5YR 5/4~6),块体结构,有分散状假菌丝体出现
72.50~73.90 m
- 古土壤单元 S₁₁
- 渐变到黄红色壤土(5YR 5~4/6),松散的团粒结构,有褐灰色小斑出现
73.90~74.75 m
- 黄土单元 L₁₂
- L₁₂(Ca 层) 被胶结的 CaCO₃ 层
74.75~75.20 m
- L₁₂ 块体结构,深褐色壤化黄土(7.5YR 5/6~4/4),有分散状假菌丝体,从本层的顶部开始出