



# 沉积理论与 黄土高原环境演变

赵景波 著



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

# 淀积理论与黄土高原环境演变

赵景波 著

国际地质对比计划项目、国家自然科学基金项目和  
中国科学院地球环境研究所国家重点实验室项目  
陕西师范大学出版基金资助出版



科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书作者根据黄土地层化学成分迁移与淀积类型的研究,建立了黄土化学成分淀积理论,并以这一理论为指导,结合化学分析、孢粉分析、颗粒分析、电镜鉴定、X射线衍射等方法,研究了黄土高原黄土发育以来的环境变化。全书重点研究了70万年来土壤与气候演变和晚更新世及全新世植被变化,确定了黄土中发育的风化壳和亚热带黄棕壤,揭示了黄土的本质和黄土形成的模式,探讨了黄土高原发生的大转折和古气候对沙尘暴活动、土壤资源发育和地下水富集规律的控制作用。

本书可供地质、地理、农林、水土保持、水文地质、工程地质和环境科技工作者以及有关院校师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

淀积理论与黄土高原环境演变/赵景波著. —北京:科学出版社,2002  
ISBN 7-03-011064-1

I. 淀… II. 赵… III. 黄土高原—土壤环境—研究 IV. P942.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第109353号

责任编辑:杨红 彭胜潮/责任校对:柏连海

责任印制:刘秀平/封面设计:王浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

丽源印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2002年12月第一版 开本:787×1092 1/16

2002年12月第一次印刷 印张:14 插页:4

印数:1—1 300 字数:314 000

定价:38.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

## 作者简介

赵景波,1982年在西北大学研究生毕业并获硕士学位,1998年在中国科学院地质研究所获博士学位。现任陕西师范大学教授,博士研究生导师,中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室客座教授。中国地质学会第四纪地质专业委员会委员,岩溶专业委员会委员,《中国岩溶学报》编辑委员会委员,陕西环境科学学会理事。长期从事自然地理与第四纪环境研究,曾在 *Soil Science*、《科学通报》、《地理学报》、《土壤学报》、《沉积学报》和《水土保持学报》等杂志发表论文 80 余篇,在科学出版社和陕西科学技术出版社出版专著 3 部。已获地质矿产部科技成果二、三等奖 4 项,获霍英东青年教师三等奖 1 项。

## 前 言

黄土高原土质优良,矿产资源丰富,是中华民族的发祥地之一。至少在距今 110 万年前,早期的人类就繁衍、生息在这块土地上。在中国近代历史的发展中,劳动人民在这里创造出了灿烂辉煌的文化,为谱写中华民族的文明历史做出了重要贡献。在现代经济建设中,黄土高原又成为重要的工农业建设基地。在黄土与过去全球变化的研究中,黄土高原独特的风成黄土又为中国在这一领域走在世界前列提供了优越的地质条件。然而,黄土高原降水较少,气候偏干,生态环境脆弱,由于不合理的耕种和植被破坏,该区现在生态环境严重恶化,给工农业生产和人们的生活带来了极为不利的影晌。因此,加强对黄土高原的研究和治理是十分必要的。

在世界范围内,中国黄土厚度最大、分布最广、代表性最强。根据本书中的研究,黄土层是冷干气候条件下发育的成熟土壤,所以黄土高原也是世界土壤资源最富集的地区,国内外的学者对该区黄土进行了大量研究。在中国黄土的研究中,化学成分与环境演变是最重要的基本研究内容之一,这是化学成分具有多方面的应用价值和黄土地层的形成受环境控制决定的。黄土化学成分是黄土物质成分迁移、富集的表现,它不但能够指示气候的演变、古土壤的类型和风化成壤作用的强弱,还能指示地下水入渗形式和分带以及土壤在农业生产上的应用价值等。人们对黄土地层中的化学成分和环境进行了大量研究,取得了许多非常重要的成果。刘东生先生等在 1966 年和 1985 年先后出版了《黄土物质成分与结构》和《黄土与环境》等多部与化学成分和环境演变有关的专著。王永焱教授在 1982 年和 1985 年分别出版了《黄土与第四纪地质》和《中国黄土研究新进展》等与黄土化学成分有关的专著。安芷生、朱显谟、张宗祜、孙建中、文启忠教授等也出版或发表了许多研究黄土化学成分与环境的重要论著。根据化学成分并结合其他指标分析,现已认识到黄土中发育有棕壤、棕褐土、淋溶褐土、典型褐土及黑垆土等(安芷生等,1980;唐克丽,1981)。认识到了中国黄土所反映的气候变化可与深海沉积气候对比,基本查明了气候变化的规律和周期性,获得了高分辨率的气候划分方案。15 万~1 万年间环境研究的分辨率已达到千年级,1 万年来环境变化分辨率已达百年级。已认识到黄土中存在新仙女木(Yuinger Drays)与赫里奇(Heinrich H)突变事件(郭正堂等,1996),以及气候的不稳定性(方小敏等,1999)。注意到了全球气候变化对东亚季风气候的影响,并对冰期与间冰期冬、夏季风活动的强度、影响范围和

变化规律等开展了深入研究。人们之所以重视对过去环境的研究,除了有许多重要的古环境问题需要解决之外,还有建立科学理论的重要价值和实际意义。要深刻认识现代环境形成和特征,要认识现代环境发展趋势和未来变化,就要认识过去环境变化规律和特征。在现代黄土高原生态环境建设中,要科学合理地种草种树恢复植被,也要弄清历史时期植被的类型和分带性,否则就不能达到预期目的。黄土地层环境研究对黄土区资源开发和灾害治理也有重要实际价值。

虽然人们对黄土地层化学成分与环境进行了大量研究,但以往研究的主要是含量及其指示的环境变化,应用的是化学成分的含量理论,如一般认为 $\text{CaCO}_3$ 含量高反映相对冷干气候,含量低反映相对温湿气候(卢演涛,1981;文启忠,1989); $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量高指示相对温湿气候,含量低指示相对冷干气候(文启忠,1989;孙建中等,1991)。含量理论对研究许多地质、地理问题是很重要的,也是今后广泛应用的重要理论。但是,这一理论仍存在不足之处。含量多少易受风化、淋溶时间过程的影响,也易受母质化学成分含量影响,不能消除时间因素的影响和母质成分的影响是含量理论的主要缺点。为弥补含量理论的不足和深入研究黄土地层环境变化,建立新的理论和确立新的方法是十分必要的。大量的事实表明,许多科学研究的重要突破或新成果的取得常与新理论的提出或新方法的应用有关。古地磁测年法是建立在地球磁场变化具有全球一致性和阶段性理论之上的,深海沉积氧同位素气候研究的重大成果是采用了氧同位素方法取得的。如果说科学研究的本质是创新,那么建立新理论和新方法就是更重要的创新。

在近20年的黄土研究中,作者深刻体会到,要推进黄土研究取得进展,除吸取前人研究成果之外,还要突破传统思想的束缚,并建立与黄土研究密切相关的理论和方法,用新的观点并从不同的角度开展研究。因此,建立适于黄土地层环境研究的理论是本书的首要任务。要建立能用于黄土地层环境研究的理论还要以黄土地层本身特点的研究为基础。最能指示黄土发育环境变化的是化学成分。一般说来,化学成分在风化淋溶过程中除发生量的变化之外,通常还伴随着迁移距离或迁移深度的变化、迁移之后的淀积产物存在形式、分布形式与组合形式的变化,这些变化具有多方面的应用价值,应当成为研究古环境的依据之一。黄土物质组成细而均一,对环境变化反映敏感,保存了大量化学成分不同淀积类型、淀积深度和淀积形式等淀积的标志,这些标志具有重要的理论价值,为我们建立淀积理论奠定了很好的基础。到目前为止,除本书作者对黄土地层化学成分迁移深度或淀积深度进行过初步研究和探索(赵景波,1991a,1995a)之外,尚未见其他研究者提出黄土地层化学成分的淀积理论,更未见有将淀积深度理论用于古土壤与环境的研究。

本书的研究表明,不但淀积理论是存在的,而且该理论内涵丰富,并具有能够消除风化淋溶时间过程的影响和母质化学成分影响的独特优点,能够弥补含量理论的不足。初步应用表明,淀积理论应用范围较广,对解决黄土地层环境研究中的许多问题颇为有效。本书研究的主要内容有以下几个方面。

一是建立淀积理论和确立化学成分淀积类型,为进一步研究黄土与环境问题提供理论和方法。本书建立的淀积理论除作者过去提出的淀积深度理论(赵景波,1991a)外,还包括了淀积成因、淀积形式和淀积类型理论。

二是研究黄土中的古土壤与发育气候。黄土地层发育在土壤化的环境中,形成了大量的红褐色古土壤。黄土层本身也经历了成壤作用,它实质上是在风尘连续堆积的冷干气候条件下发育的灰黄色古土壤(赵景波,1991a,1994a)。因此,要全面认识黄土高原环境变化、黄土地层的构成和本质,就应当研究作为环境因素之一的红色古土壤与黄土的土壤类型。古土壤发育在一定的生物气候条件下,是恢复生物、气候环境的重要依据。古土壤是划分、对比地层的重要标志,查明古土壤在区域和时代上的变化能为建立土壤地层学提供依据。古土壤发育过程长,而且未受人类活动干扰,很好地保存了土壤剖面的自然特征,通过这些特征的研究,有助于完善和发展土壤学的理论。本书主要探讨发育较好的70万年来的古土壤类型,并在黄土高原东南部古土壤研究(赵景波,1994a)的基础上,加强了对黄土高原中部古土壤的研究。由于我们所用的基本理论与过去不同,得出的认识与以往差别较大。

三是研究黄土化过程和黄土形成与演变模式。黄土形成与演变模式涉及对黄土本质的认识,是应当查明的重大问题。前人对黄土化过程进行过许多探讨,刘东生院士(1985)和张宗祜院士(1980)先后提出过黄土形成与演变的模式,但以往讨论的黄土化和黄土形成与演变模式是把黄土作为沉积物看待的,是风尘转变为特殊沉积物的演变模式。本书以在黄土中确定和发现的多种土壤特征为依据,研究黄土形成的不同土壤化过程,得出了黄土主要是通过不同地区或不同生物、气候条件下的三种成壤作用形成的,并提出了黄土形成与演变新模式。

四是研究黄土地层中的风化壳与气候带变迁。在有利的气候条件下,古土壤发育到了一定阶段就会向风化壳转变,查明黄土中风化壳剖面特征能够加深对古土壤和风化强度及性质的认识。研究表明,黄土高原东南部和中部均有风化壳发育。气候变迁是黄土地层环境研究的主题,以往在这方面开展的研究也最多,取得的成果最显著,然而对气候变迁幅度、亚热带气候在黄土高原的进退和降水量对气候带迁移的指示作用研究不够。黄土中风化壳对降水量和气候带变迁幅度有重要指示作用,所以研究黄土中的风化壳不仅能使我们认识到黄土中新的地质现象,而且对认识亚热带气候在黄土高原的进退、

降水丰富的气候事件和秦岭在气候明显变暖时是否具有温带与亚热带气候分界线的作用有重要价值。我们将着力在这些方面进行探讨。

五是研究晚更新世以来的环境演变。晚更新世以来的环境是第四纪环境研究的重点之一,对长期环境变化趋势预测和黄土高原现代生态环境建设有重要参考价值。我们将以孢粉分析为主要依据,高分辨率地恢复晚更新世和全新世植被和气候演变。

六是研究黄土高原沙尘暴的发生和土壤干化原因。以历史资料为依据,探讨历史时期以来沙尘暴活动规律、发生条件、影响因素、发展趋势和防治措施;探讨土壤干化原因和对策。

七是研究黄土高原的演变和大转折。重点探讨黄土高原发展过程中红土高原向黄土高原、河流从无到有、构造由弱到强、侵蚀物质由区内搬运向区外搬运等大转折和侵蚀历史。

八是研究黄土地层岩溶作用与  $\text{CO}_2$  循环。黄土地层包括了许多人们过去还未认识到的地质信息,黄土地层  $\text{CaCO}_3$  迁移与沉淀就是能够指示岩溶作用垂直分带的标志,同时也是指示土壤中大气降水来源的  $\text{CO}_2$  循环深度的标志。这一标志不仅适于黄土地层,同时也适于石灰岩区岩溶分带与  $\text{CO}_2$  循环。黄土地层  $\text{CaCO}_3$  的溶解与石灰岩区  $\text{CaCO}_3$  的溶解一样,都是吸收  $\text{CO}_2$  的过程,对调节全球  $\text{CO}_2$  循环起着重要作用。

九是研究古气候对黄土地层地下水富集规律的控制作用。黄土地下水运移、富集规律是尚未查明的问题,它的研究既有科学理论意义,又有实际应用价值。过去在对黄土地下水研究中有些问题没有弄清的原因是没有认识到黄土的本质是土壤,没有认识到黄土地下水运移、赋存和富集主要是受古气候制约的。本书第九章以古气候控制黄土地下水运移、富集规律的新观点为依据,进行了黄土地下水富集规律等问题的研究,解决了以往存在的部分问题。

本书中的研究工作曾得到刘东生院士、朱显谟院士、安芷生院士、袁道先院士、黄春长教授、孙建中教授、周卫建教授、郭正堂教授、张小曳教授、吕九如教授、朱士光教授、侯雨坚教授、李佩成教授、李继凯教授、甘枝茂教授、延军平教授、马耀峰教授、任志远教授、吴成基教授的支持,并得到岳应利、杜娟、贺辉、徐芹选、李胜利、张晓龙、蔡小微、王丽霞、韩佳同志的帮助,作者对他们表示真诚的感谢!

由于本书所用理论、观点与过去有很大不同,加之客观条件和作者水平所限,书中会有许多不足之处,敬请读者批评指正。

赵景波

2002年6月6日



# 目 录

第一章 黄土地层与土壤资源发育概况	(1)
第一节 世界上最发育的优良土壤资源	(1)
第二节 黄土高原东南部的黄土地层	(4)
第三节 黄土高原中部的黄土地层	(8)
第四节 黄土高原西北部的黄土地层	(15)
第二章 黄土地层化学成分淀积理论	(17)
第一节 黄土地层化学成分淀积的机理	(17)
第二节 古土壤化学成分的淀积类型	(21)
第三节 淀积成分的存在形式、含量与环境	(32)
第四节 $\text{CaCO}_3$ 淀积深度与降水量之间的函数关系	(35)
第五节 化学成分淀积深度的影响因素	(37)
第六节 淀积理论的内涵及其优缺点	(42)
第三章 黄土的本质和形成模式	(45)
第一节 黄土的本质和土壤特征	(45)
第二节 黄土形成过程的实质	(53)
第三节 黄土化作用及其划分	(55)
第四节 黄土形成与演变模式	(58)
第五节 黄土所属的土壤类型	(61)
第六节 黄土高原 450kaBP 前后荒漠草原大迁移	(67)
第七节 黄土作为土壤的科学意义	(71)
第八节 黄土作为土壤的实际价值	(72)
第四章 长武黄土地层古土壤与环境	(74)
第一节 第 4、5 层古土壤类型与气候	(74)
第二节 第 1、6 层古土壤类型与气候	(83)
第三节 第 2、3、7 层古土壤类型与气候	(87)
第四节 第 1~7 层黄土发育时的气候	(91)
第五节 黄土地层气候划分与振幅	(96)
第五章 黄土中的风化壳与气候带迁移	(102)
第一节 土壤与风化壳的剖面分布	(102)
第二节 黄土中风化壳的剖面分层	(105)
第三节 黄土中风化壳类型与形成过程	(113)
第四节 风化壳发育时的环境与气候带迁移	(118)
第五节 黄土风化壳剖面中 $\text{CaCO}_3$ 指示的岩溶分带	(122)

<b>第六章 黄土高原晚更新世植被与气候</b> .....	(128)
第一节 秦岭与黄土区现代植被孢粉组合.....	(128)
第二节 陕西岐山剖面晚更新世孢粉组合与植被演变.....	(135)
第三节 陕北富县剖面晚更新世孢粉组合与植被演替.....	(140)
第四节 晚更新世气候划分与温度恢复.....	(144)
<b>第七章 黄土高原全新世以来的环境演变</b> .....	(152)
第一节 关中地区全新世土壤与环境演变.....	(152)
第二节 黄土高原全新世植被与气候.....	(155)
第三节 黄土高原近代气候变化特点及发展趋势.....	(163)
第四节 历史时期以来沙尘暴的活动与防治措施.....	(165)
第五节 现代黄土高原土壤干化原因与防治.....	(174)
<b>第八章 黄土高原的演变和大转折</b> .....	(178)
第一节 黄土高原的侵蚀期与发育期.....	(178)
第二节 红土高原的形成与向黄土高原的大转折.....	(181)
第三节 黄土高原河流发育的大转折.....	(183)
第四节 黄土高原物质侵蚀与搬运的大转折.....	(187)
第五节 未来 100 年黄土高原可能发生的大转折.....	(192)
<b>第九章 气候变化对地下水资源富集规律的控制作用</b> .....	(194)
第一节 古气候对含水空间的影响.....	(194)
第二节 气候变化对黄土地层含水量的影响.....	(197)
第三节 古气候对富水条件的影响.....	(202)
第四节 对古气候控制黄土地下水资源的认识.....	(204)
<b>参考文献</b> .....	(205)
<b>图版</b> .....	

# 第一章 黄土地层与土壤资源发育概况

中国黄土高原面积广阔,黄土地层厚度大、时代全、代表性强。由于距物质来源距离的不同、古地貌和气候的差异,各地区黄土地层的厚度、黄土的特征和古土壤发育的强弱存在明显不同。虽然人们认识到了黄土高原的黄土是世界上发育最好的,但并未认识到这一地区的土壤资源在世界上也是发育最好的。下面将分别介绍黄土高原土壤资源的特点和不同地区的差别。

## 第一节 世界上最发育的优良土壤资源

人们都知道我国的黄土高原在世界上是独一无二的,并且其黄土厚度也是世界上最厚的,人们还认识到黄土对发展农、林业具有重要价值,但黄土是否为发育成熟的狭义的性质优良的土壤则是需要研究的。

### 一、发育厚度最大和延续过程最长的土壤资源

过去人们普遍认为黄土中的红层是古土壤,而我们据以往研究(赵景波,1991b,2000d)和本书第三章研究可知黄土也是发育成熟的、狭义的古土壤,所以整个黄土地层都是古土壤迭加构成的。国内外的资料表明,中国黄土厚度最大,广大黄土塬区的黄土厚度一般为120~140m(表1-1)(刘东生,1985;王永焱,1987;赵景波,1988),在黄土高原西北部厚达505m(雷祥义,1999),而且在黄土高原西北部红色古土壤发育微弱,呈现的几乎都是灰黄色的古土壤。现代土壤单层厚度一般为1~2m,厚度小表明了现代土壤发育的时间过程短或发育在沉积间断的条件下,并且没有多层土壤的叠加。黄土高原的古土壤不但总厚度大,而且灰黄色古土壤的单层厚度也很大,这是灰黄色古土壤发育在风尘连续堆积条件下的结果。由于黄土高原第四纪发生了50余个旋回的气候变化(赵景波,2002a),才导致了黄土高原大量红色古土壤与灰黄色古土壤的形成。在黄土高原的西北部,沙漠、戈壁广泛分布,他们在长期的风化过程中为黄土高原古土壤的形成提供了丰富的物质来源。在黄土高原发育之前的第三纪晚期该区已成为高原,当时是红色土覆盖的高原(赵景波,2002a),也是红色土壤构成的高原(赵景波,1999b,2002a)。第三纪晚期的红土厚度可达60~100m,如果将第四纪黄土地层与第三纪晚期的三趾马红土加在一起,其厚度最大可达600余米。由此可以得出,黄土高原是世界上土壤资源厚度最大的地区。即使不考虑第三纪晚期红土的厚度,黄土高原也是世界土壤资源厚度最大的地区。西北区典型黄土分布面积可达44.8万多平方千米,加上次生黄土面积,可达63万多平方千米(刘东生,1985)。中国黄土分布面积很广,除俄罗斯厚度不大的黄土分布面积可能比中国黄土略大之外,其他国家的黄土分布面积远不如中国大。据面积和厚度计算,中国黄土高原也是土

壤体积最大的地区,是土壤资源最富集的地区。

据年代学的研究,第三纪晚期的三趾马红土开始发育年代为距今不少于 600 余万年,这表明黄土高原的土壤资源发育过程持续了 600 余万年,可称为发育历史最长的土壤资源。

表 1-1 黄土高原与奥地利第四纪古土壤发育概况

地点	西安	长武	洛川	西峰	兰州	靖远	奥地利
黄土地层厚度/m	120	130	135	140	410	505	72
红色古土壤层数	50	36	35	36	41	待查	24
灰黄色古土壤层数	51	37	36	37	41	待查	25
红色古土壤结构	棱柱状	棱柱状	棱柱状	棱柱状	团块状、团粒状	团粒状、粒状	—
灰黄色古土壤结构	团块状、似棱柱状	团块状、团粒状	团块状	团粒状、团块状	粒状	粒状	—
年代/Ma	2.50	—	2.48	—	—	—	1.80

注:洛川剖面据刘东生(1985);兰州剖面据白凤龙(1987);靖远剖面据雷祥义(1995);奥地利剖面据 Fink 等(1977);其余据本章作者;各剖面中土壤结构资料据本章作者

## 二、层次最多和种类最丰富的土壤资源

我国黄土高原的土壤资源不仅厚度最大,而且发育层次最多,种类最丰富。过去的调查表明,中国黄土地层中发育了 20 余层黄土和 20 余层红色古土壤(安芷生,1989),我们的调查表明,250 万年来发育了约 50 层黄土与 50 层红色古土壤(表 1-1)(赵景波等,2002d)。随着古土壤研究的不断深入和分辨率的不断提高,我们相信在中国黄土地层中会划分出更多层次的古土壤。虽然欧洲黄土发育不如亚洲好,但比其他大陆发育好,欧洲发育好的奥地利克雷姆斯黄土剖面中黄土与棕红色古土壤分别只有 24 层(表 1-1)(Fink et al.,1977),比中国黄土地层的古土壤总数少 50 余层。由此可以得出,中国黄土高原是古土壤数量最多的地区。

土壤发育及其种类主要受生物、气候条件制约。除地形垂直高差大的地区外,现代同一地区由于气候差异不大,土壤种类较少。由于黄土高原的土壤资源经历了漫长的发育过程和频繁的气候变化,形成了种类繁多的土壤类型。据前人研究(朱显谟,1965;唐克利,1981;安芷生等,1985)得知,黄土中的红色古土壤类型包括棕壤、淋溶褐土、典型褐土及黑垆土等。作者研究表明,除前人确定的土壤类型之外,黄土地层中还包括亚热带黄棕壤(赵景波,1994a)和冷干气候条件下发育的灰钙土、栗钙土及棕钙土等类型(赵景波,1991b,2002c)。由于黄土地层厚度巨大,从土壤学的角度开展的研究还较少,很多土壤类型尚未查明。从土壤发育的气候带而论,黄土高原既有亚热带森林土壤,又有温带森林土壤和温带森林草原土壤、草原土壤及荒漠草原土壤。由于黄土高原红色古土壤与灰黄色古土壤总和多达约 100 层,而且许多层古土壤还有多元发生的显示(赵景波,1994a,1995a),这必定包括了大量的土壤类型。因此,就同一地区来说,黄土高原的古土壤种类应当是最丰富的。

### 三、性质优良和化学成分丰富的土壤资源

黄土不但是土壤资源,而且是性质、结构优良,化学元素和矿物成分丰富的很好的土壤资源。由于黄土的物质是由风力搬运而来的,气体搬运介质决定了其颗粒成分是最好的物质构成。风力搬运的粉砂物质分选极好,颗粒成分均一,是对植物生长特别有利的颗粒成分,比粉砂粗的物质持水性差,太粗的物质对植物生长有多种不利的影晌,比粉砂细的黏土物质持水性虽强,但致密的黏土质结构也不利于根系的发育,所以从粒度成分而论,黄土这种以粉砂为主并含一定数量黏土的物质是最优良的土壤物质组成。

黄土是在风尘堆积后经草原、森林草原和荒漠草原区的成壤作用形成的,这些地区的成壤作用较弱,黏化作用不明显,具有疏松的粒状、团粒状结构,与土壤的团块结构和棱柱状结构相比,粒状与团粒状也是很优良的土壤结构。在较干旱的成壤过程中,淋溶作用微弱,化合物和元素迁移不明显,导致土层中化合物分布均匀,含量适中,种类丰富。黄土中微量元素含量丰富,许多元素的含量与现代土壤含量相同或相近(表 1-2),有的元素与现代土壤有一定差别,这与人类活动对现代土壤的改造和施肥有关。降水多淋溶强的地区的土壤中  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量高,易受淋溶迁移的化合物、元素含量低,造成了化合物和元素含量的两极分化,具有这种化学成分高含量的土壤对农作物生长、发育是不利的。黄土中化合物和元素含量丰富,种类齐全,分布均匀,决定了黄土层上生长、发育的农作物品质优良。因此,在不缺水或解决了水的情况下,黄土高原农、牧业发展的潜力和开发价值很大。

表 1-2 洛川黄土中几种微量元素含量(ppm)<sup>1)</sup>(文启忠等,1985)

元素	含量范围	平均含量	标准差	变异系数	黄土中平均值	现代土壤丰度值
Zn	71~147	91	12.5	0.137	77	50
Cu	13~34	25	3.3	0.133	25	20
Mn	486~878	691	82.7	0.120	626	850
Co	14~28	21	2.6	0.128	21	10
Ni	27~50	40	4.4	0.110	39	40
Pb	15~40	30	3.6	0.120	30	10
P	131~742	388	113.9	0.294	429	800
Ti	417~4676	4058	308.3	0.076	3587	4600
Sr	152~288	195	34.4	0.177	未测	—
Ba	500~647	579	39.1	0.068	未测	—

1) 1ppm =  $10^{-6}$

黄土物质搬运距离可达数千千米,搬运高度可达 3000 余米,在搬运过程中得到了高度混合,物质成分非常均一,这是一般发育在母岩上的土壤所不具备的。化学成分丰富性、均一性和优良的结构决定了黄土是很优良的土壤资源,我们应当加强对这种宝贵的土壤资源的保护,合理开发和利用这一土壤资源。

### 四、可长时间持续耕作利用的土壤资源

黄土地层厚度巨大,同一层黄土的厚度也相当大,在表层的土壤被侵蚀后,下面的黄土仍可相当好地适于农作物生长。由于人类对植被的破坏和土地不合理的耕作,黄土高原土壤侵蚀强烈。如果没有厚层黄土这种土壤资源的发育,黄土高原的土壤早被侵蚀完毕,很难进行耕作和发展农、林、牧业了。在基岩上发育的土壤厚度一般只有1~1.5m,这样的土壤被侵蚀后,往往出现严重的土壤退化甚至荒漠化,我国西南石灰岩区的薄层土壤被侵蚀后出现的石漠化就是一例。黄土厚度通常达120余米,虽然有些塬区被侵蚀掉的黄土厚度达2m甚至5~6m,但农作物仍能很好地生长。在丘陵区 and 塬坡,被侵蚀掉的土层厚度达数十米,然而坡地上仍能够很好地进行耕作。

虽然表层黄土被侵蚀后仍可持续进行耕作利用,但侵蚀必定损失了宝贵的土壤资源,而且长期的侵蚀也会造成土壤资源的耗尽,所以我们要设法减少这种土壤的侵蚀。还需指出,与黄土层相比,黄土中的红色古土壤对农作物生长不利,应当避免红色古土壤出露于地表。

### 第二节 黄土高原东南部的黄土地层

黄土高原东南部尚未有统一确定的范围,大致位于秦岭以北至北山和中条山之间的地区(图1-1)。黄土高原东南部多为黄土台塬分布区,也有典型黄土塬发育。由于黄土高原东南部温度较高、降水较多,因此黄土地层受风化、成壤作用较为强烈,古土壤发育好(王永焱等,1987;丁仲礼,1989;赵景波,1994a)。在黄土塬区,发育完整的黄土地层厚度多为120m左右。

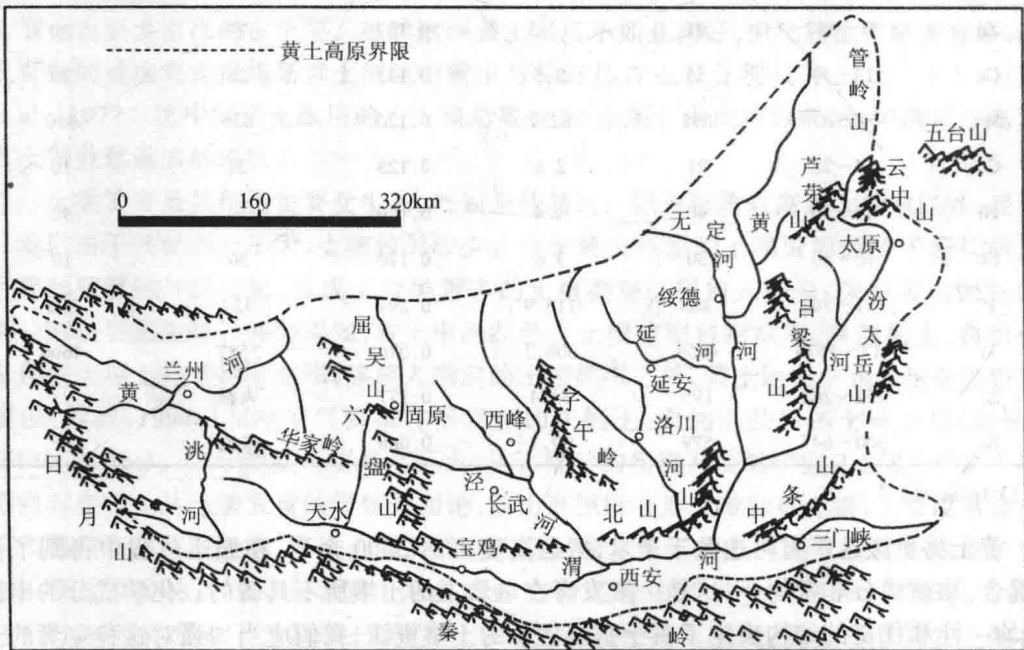


图 1-1 黄河中游黄土高原范围和山川分布

## 一、黄土地层的分布与分层

黄土高原东南部古土壤的分布随地貌类型的不同而不同,代表性的地区是黄土塬区与河谷区。黄土塬区的古土壤数量最多,发育较完善,厚度较大,这是由于塬区黄土地层齐全、地势平坦有利于古土壤发育和保存的缘故。过去的调查多认为黄土塬区的古土壤有 20 余层,但近年来的调查表明,黄土地层齐全的塬区古土壤层远远超过以往确定的数量(赵景波,1988;丁仲礼,1989)(图 1-2)。

在西安与蓝田之间的白鹿塬区,常见到发育有 40 层左右古土壤的黄土剖面,刘家坡剖面就是其中之一(图 1-2)。在关中平原西端的宝鸡和靠东部的渭南也有近 40 层古土壤的黄土剖面(图 1-2)发育。关于这一地区古土壤的数量,由于不同的研究者划分古土壤的标准不同,调查、研究的剖面不同,确定的古土壤数量有一定差别。但据发表的资料来看,调查的剖面大多都有 30 余层至 40 层左右的古土壤。研究表明,黄土塬区的黄土是基本连续沉积的(刘东生等,1985;孙建中等,1991),普遍明显的侵蚀是不存在的,在理论上也是不成立的(见第八章)。但由于地形等条件的影响,局部侵蚀现象还是存在的,这就造成了不同剖面中古土壤的数量会有一定差异。一般所划分出的 40 层左右的古土壤几乎都是温湿气候条件下发育的红褐色古土壤,发育程度较黑垆土高。

除典型黄土塬外,还有在早更新世发育湖积物和洪积物的非典型的黄土塬。在非典型的黄土塬区,古土壤的数量多少取决于湖积物和洪积物发育持续的时间长短。持续的时间长,古土壤数量就少一些,持续的时间短,古土壤层就多一些。非典型塬区古土壤多在 10 余层至 20 余层之间(图 1-2)。

黄土高原东南部塬区的古土壤不仅数量多,而且古土壤所受成壤作用很强烈。这一地区的古土壤非常醒目,土壤发生层明显,一般是由红褐色的黏化层和 $\text{CaCO}_3$ 结核淀积层构成。 $\text{CaCO}_3$ 结核个体大,大者可达 1m 多,有时连接呈板状。土壤厚度也较大,厚者可达 2m 多。由于该区气候较温湿,除发育了区域上可对比的古土壤外,在不太温湿的过渡性气候阶段还形成了黄土高原西北部不曾见到的薄层古土壤。在西安附近,第 1、5 和 6 层黄土中都有这样的薄层古土壤存在。虽然这些薄层古土壤发育较弱,但它们代表了一定的气候条件和气候变化规律,应当加强对它们的研究。

河谷区黄土的分布也很广泛,除高漫滩与低漫滩上无古土壤发育外,其余各级阶地上都可见到古土壤的分布。河谷区古土壤分布与黄土塬区显著不同,塬区各处古土壤数量差异很小,而河谷区不同级别阶地上古土壤的数量差别很大,这是由它们所处的风尘堆积条件和古土壤发育条件不同决定的。黄土塬区风尘堆积是连续的,不同塬区会同时出现黄土的发育或红褐色古土壤的发育,这决定了古土壤分布具有大致相同的特点。河谷区不同级别阶地露出水面的时间早晚不同,经历的成壤期不同,古土壤发育的数量和层次就存在很大差异。

虽然河谷区不同级别阶地上古土壤数量有较大差异,但有明显的变化规律。这种变化规律就是阶地时代越老,古土壤的数量越多,阶地越新,古土壤数量越少(图 1-3)。在关中地区,五级阶地上除黑垆土外还有 10 层左右的古土壤,四级阶地上一共有 7 层古土

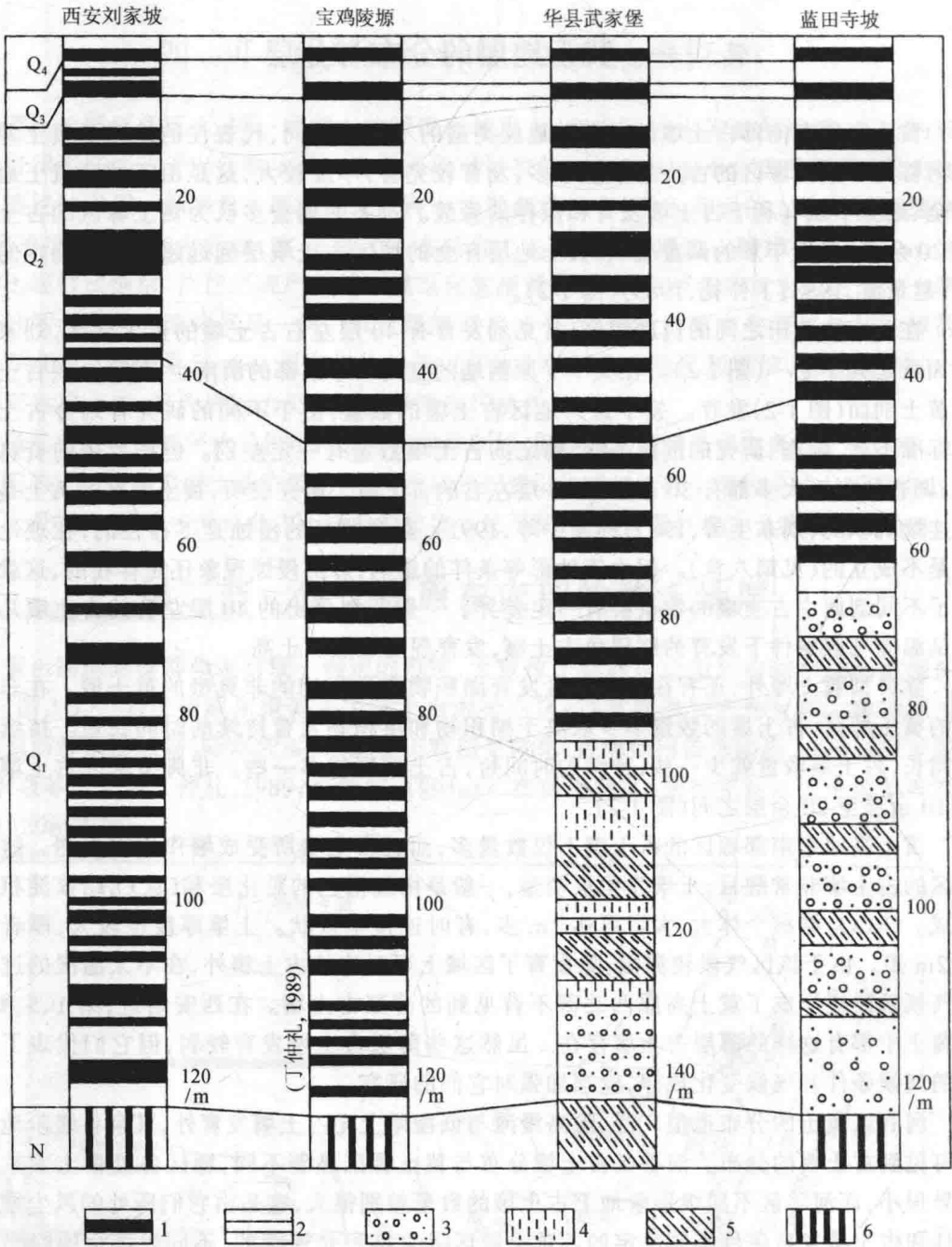


图 1-2 关中平原不同地区黄土与古土壤剖面图

1. 古土壤; 2. 黄土; 3. 砂砾石层; 4. 黄土状土; 5. 亚黏土; 6. 三趾马红土

壤,三级和二级阶地上分别有 4 层和 2 层古土壤,一级阶地上只有黑垆土(图 1-3)。由于同一级阶地后缘露出水上的时间早,前缘露出水上的时间晚,有时在同一级阶地上会出现后缘古土壤较前缘多一层的现象。



河谷区古土壤分布的另一特点是古土壤常呈倾斜状态,特别是在阶地前缘陡坎处,古土壤的倾斜很明显(图 1-3)。在河流侧向迁移过程中,由凸岸向凹地形是由高略变低的,所以即使分布在阶地面上的古土壤,也常常略向河床倾斜(图 1-3)。在谷坡上,由于受地形坡度较大的影响,还可见到古土壤变薄甚至因侵蚀而缺失的现象。

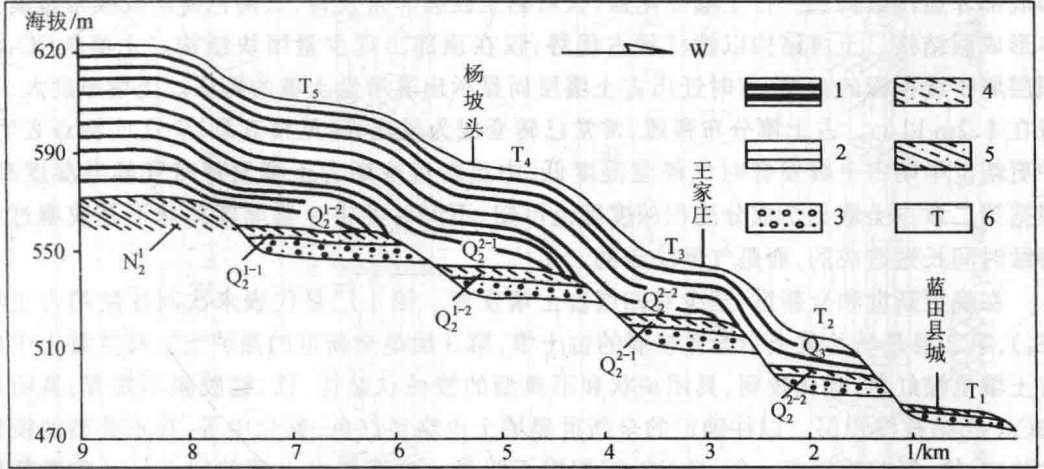


图 1-3 蓝田城东灞河阶地古土壤分布图

1. 古土壤; 2. 黄土; 3. 砂砾石层; 4. 亚砂土; 5. 砂质泥岩; 6. 阶地

## 二、黄土地层的垂向变化

该区古土壤在区域上也有一定变化,但变化不大。在关中平原的东南边缘,气候更温湿,古土壤的发育更为强烈。在宝鸡、西安和蓝田地区,可见到不具CaCO<sub>3</sub>淀积层的淋溶性土壤(赵景波,1991c,1991d,1995a),而在黄土高原中部则很少见。

该区黄土在时代上的变化比在区域上的变化更明显,这反映了不同时期成壤作用差别较大。一般说来,从早更新世到晚更新世,古土壤所受成壤作用有明显加强的趋势。早更新世的古土壤普遍发育较弱,少数层发育较好。早更新世古土壤颜色较浅,主要为浅红褐色及棕红色,呈深红褐色者少。古土壤的黏化不强,黏土胶膜数量较少。土壤结构不完善,代表成壤作用较强烈的棱柱状结构不明显,绝大多数古土壤为团块状结构,甚至有些土壤层的团块状结构也不典型。早更新世古土壤淀积层发育好,主要以CaCO<sub>3</sub>结核层或钙板层的形式出现,但CaCO<sub>3</sub>结核淀积层迁移深度小。古土壤厚度较小,大多数小于1m,有的不足0.5m。这一时期古土壤分布较密集,各层古土壤之间黄土的厚度较小(图 1-2),这些特点均说明早更新世古土壤发育时气候的温湿度不高。至于发育较好的CaCO<sub>3</sub>结核淀积层的存在,由于它们是淀积浅的类型,更可靠地证明了当时气候偏干(赵景波,1993a,1994a)。

关于中更新世的古土壤,早期与晚期有明显不同。中更新世早期的古土壤与早更新世的古土壤类似,发育程度也较弱。这一时期的古土壤以浅红褐色为主,呈棕红色的很少见,古土壤的黏化也较弱。铁质黏土胶膜少,黑褐色锰质胶膜仅呈斑点状出现。土壤结构