

DOI: 10.11766/trxb201906240325

吴娟, 齐雁冰, 常庆瑞, 刘梦云, 白丽敏. 关中地区壤土系统分类归属及代表土系建立[J]. 土壤学报, 2021, 58 (2): 357-371.

WU Juan, QI Yanbing, CHANG Qingrui, LIU Mengyun, BAI Limin. Attribution of Lou Soil in Chinese Soil Taxonomy and Establishment of Representative Soil Series in Guanzhong Area[J]. Acta Pedologica Sinica, 2021, 58 (2): 357-371.

## 关中地区壤土系统分类归属及代表土系建立\*

吴娟, 齐雁冰<sup>†</sup>, 常庆瑞, 刘梦云, 白丽敏

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100)

**摘要:** 壤土是关中地区受人为长期土粪堆垫而在原土壤表层形成明显堆垫层的重要农业土壤, 其分类一直备受关注。为了解壤土的成土特点及系统分类归属, 选取关中地区 18 个典型壤土剖面, 通过野外成土因素、剖面形态调查与土样分析测定, 依据中国土壤系统分类方案, 确定其在高级和基层分类单元归属。结果表明, 供试剖面包含堆垫表层、黏化层、钙积层等 9 个诊断层和诊断特性, 隶属 5 个亚类, 其中 3 个剖面为钙积土垫旱耕人为土, 2 个剖面为斑纹土垫旱耕人为土, 8 个剖面为普通土垫旱耕人为土, 4 个剖面为堆垫筒育干润淋溶土, 1 个剖面为普通筒育干润锥形土; 按土族划分标准, 可分为 9 个土族, 其中 13 个剖面颗粒大小级别为黏壤质, 5 个为壤质; 16 个剖面矿物学类型为硅质混合型, 2 个剖面为混合型, 土壤温度状况均为温性, 14 个剖面为石灰性, 4 个剖面为非酸性; 按土系划分标准, 18 个剖面可划分为 18 个不同的土系。相关文献的 71 个壤土剖面的统计结果表明, 堆垫层厚度介于 17~97 cm, 平均厚度为 50.07 cm, 因此堆垫表层以 50 cm 厚度为检索标准是适宜于划分典型壤土的高级分类归属的。为进一步完善中国土壤系统分类, 强化对具有堆垫现象的锥形土有更强的区分能力和分类的准确性, 建议在筒育干润锥形土土类下增设堆垫筒育干润锥形土亚类。

**关键词:** 壤土; 系统分类; 堆垫表层; 代表土系; 关中地区

中图分类号: S155.3 文献标志码: A

## Attribution of Lou Soil in Chinese Soil Taxonomy and Establishment of Representative Soil Series in Guanzhong Area

WU Juan, QI Yanbing<sup>†</sup>, CHANG Qingrui, LIU Mengyun, BAI Limin

(College of Natural Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** [Objective] Lou soil is an important agricultural soil that has an apparent cumelic epipedon formed on the top as a result of long-term dung stacking therein in the Guanzhong Region of Shaanxi Province, and its classification has received much attention. In order to explore its pedogenic characteristics and attribution in the soil taxonomy and to establish a perfect representative soil system, a total of 18 typical Lou soil profiles were selected in the region. [Method] Of the 18 soil profiles, natural soil forming factors and morphologies were studied and in reference to the Manual of Field Soil Description and Sampling, soil samples collected for analysis of physicochemical properties in reference to the Soil Survey Laboratory Methods. On such a basis, diagnostic horizons and diagnostic characteristics of the selected soil profiles were determined, and their attributions in the Chinese Soil Taxonomy (CST) at

\* 国家自然科学基金项目 (41877007) 资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 41877007)

<sup>†</sup> 通讯作者 Corresponding author, E-mail: ybqi@nwsuaf.edu.cn

作者简介: 吴娟 (1995—), 女, 贵州铜仁人, 硕士研究生, 主要从事土壤资源环境研究。E-mail: wujuan\_1706@163.com

收稿日期: 2019-06-24; 收到修改稿日期: 2019-09-07; 优先数字出版日期 (www.cnki.net): 2019-12-13

the higher and basic category levels defined. 【Result】 The selected Lou soil profiles were found to have 2 diagnostic surface horizons (cumulic epipedon, ochric epipedon), 3 diagnostic subsurface horizons (argic horizon, calcic horizon and cambic horizon) and 6 diagnostic characteristics (calcaric property, redox features, mesic soil temperature regimes, ustic soil moisture regimes, cumulic evidence and calcic evidence). Thickness of the cumulic epipedon was the key indicator for determining attribution of the Lou soil at the order level. Of the 18 profiles, 13 were sorted into orthic anthrosols with a corresponding cumulic epipedon diagnostic horizon, 4 into ustic argosols, and 1 into ustic cambosols with a corresponding 20-50 cm thick cumulic epipedon. They were attributed to 3 subgroups (Calcic Earth-cumuli-Orthic Anthrosols, Mottlic Earth-cumuli-Orthic Anthrosols and typic Earth-cumuli-Orthic Anthrosols) under Group Orthic Anthrosols, one to Subgroup Cumulic Hapli-Ustic Argosols under Group Ustic Argosols and one to Subgroup Typic Hapli-Ustic Cambosols under Group Ustic Cambosols. According to the criteria for sorting at the soil family and soil series levels in CST, they could be sorting into nine soil families (clay loamy mixed type mesic temperature-Calcic Earth-cumuli-Orthic Anthrosols, etc.) and 18 soil series (Yangling series, etc.). Attributes of the Lou soil profiles in the CST and the Chinese Soil Genetic Classification (CSGC), did not always match, for example, three different soil series (Yangling series, Zhenyuan Series and Linping Series) in the CST corresponding to the same soil species (Red oil soil) in the CSGC. The statistics of 71 Lou soil profiles in relevant literatures shows that the cumulic epipedons in the Lou soils varied in range of 17-97 cm in thickness, and averaged to be 50.07 cm. 【Conclusion】 Compared with the Chinese Soil Genetic Classification, the Chinese Soil Taxonomy reflects and characterizes more accurately differences between the soils in soil development process and degree. The criterion of 50 cm thick cumulic epipedon is appropriate for classification of Lou at high levels soil. In order to improve the ability and accuracy of classification of prototype soils with cumulic phenomenon, it is suggested that the subgroup of Cumulic-Hapli-Ustic Cambosols under Group Hapli-Ustic Cambosols should be added in the CST.

**Key words:** Lou soil; Soil taxonomy; Cumulic epipedon; Representative Soil Series; Guanzhong area

土壤分类不但是土壤科学发展水平的标志,也是区域土壤资源利用因地制宜的基础。以诊断层和诊断特性为基础的标准化和量化的中国土壤系统分类已经受到世界各国的普遍认可<sup>[1]</sup>。随着全国性土系调查工作的全面开展,基于土壤系统分类的土壤调查和分析方法的科学性和规范性日趋完善,在国内的认可度进一步提升。

我国农业历史悠久,农业生产活动是影响土壤形成过程及其分类归属的重要因素,我国在发生分类阶段就曾对受强烈人为活动影响的土壤在分类上十分重视,如提出水稻土土纲,灌淤土和瘠土土类以及菜园土土属<sup>[2]</sup>,而在中国土壤系统分类中将人为土列为单独土纲,下设水耕人为土和旱耕人为土两个亚纲<sup>[1]</sup>。受中国系统分类的影响,世界土壤资源参比基础(WRB)中也采用了例如灌淤层、堆垫层、草垫层等诊断层,用于划为灌淤土、堆垫土、草垫土等人为土壤<sup>[3]</sup>。美国土壤系统分类虽未单独设立人为土土纲,但在其诊断层的设立以及人为干扰特性均有体现人为活动对分类的影响<sup>[4]</sup>。近年来我国学者围绕水稻土、灌淤土、菜园土等的系统分类也开展了大量的工作,进一步完善中国土壤系统

分类和提升其在国际上的影响<sup>[5-9]</sup>。

分布在陕西关中地区的瘠土被认为是受长期农业生产活动-土粪堆垫影响形成的典型人为土壤。作为中国古老农业的发祥地,关中平原曾是历代政治、文化和经济活动的中心。公元前 11 世纪时就有后稷“教农稼穡,树艺五谷”的传说,并注意到腐烂的杂草有肥田的作用<sup>[10]</sup>;战国时期已有人工施肥的记载,西汉到北魏时期,新的施肥方法如基肥、追肥和溲种等也迅速发展,并普遍实行秸秆垫圈-踏肥的制肥方法<sup>[11-12]</sup>,明清时期粪肥种类及施用量大增,除牲畜粪外,坑土、墙(老)土、灶土等也成为粪肥品种,年施肥量达到 130~670 kg·hm<sup>-2</sup> 不等<sup>[10]</sup>,且用于制作粪肥(粪尿与土的比例为 1:3~4)的黄土均是取自村庄附近的壕,而非取自于耕种田块<sup>[13]</sup>。这种历时数千年的土粪施用在原耕种土壤表层形成 20~100 cm 厚度不等的堆垫层次。长期的土粪堆垫使瘠土剖面分化出堆垫层而使其性质显著区别于下边被埋藏土壤,如覆盖表层有机碳储量增大和加剧形成复合剖面<sup>[13-15]</sup>。正是由于瘠土受到强烈的人为干扰,导致无论是对其成土过程的认识,还是瘠土的发生分类或系统分类归属方面,一直存在较大的

分歧<sup>[16-21]</sup>。壤土的发生分类归属曾几经变更，第一次和第二次土壤普查初期均将壤土作为单独土类看待，但在总结普查成果时又均将其作为褐土的一个亚类，而其之下所划分的土属或土种数量及类型也有较大的变化<sup>[16, 20, 22-25]</sup>。自我国开展土壤系统分类开始，壤土的诊断层及诊断特性就受到学者们的重视，贾恒义等<sup>[26]</sup>和田积莹等<sup>[27]</sup>通过比较堆垫层与被覆盖土层在土壤颗粒组成、碳酸钙、pH 及非交换型钾等方面的差异，提出了壤土诊断层的诊断特性。史成华和龚子同<sup>[28]</sup>分析了堆垫表层的厚度、有机质含量、双重耕种熟化层段、速效磷含量及人为活动侵入体等方面进行讨论，在此基础上提出了堆垫表层的检索标准的建议。在系统分类初期，对于壤土的系统分类归属特别注重剖面具有双重淋淀层段，以至于将壤土与堆垫土混淆（首次方案）<sup>[29]</sup>，给检索带来困难，后经过完善在《中国土壤系统分类（第三版）》<sup>[1]</sup>中将符合检索条件的壤土归为土垫早耕人为土，如果不符合检索标准的，基本划归为淋溶土或锥形土<sup>[30-31]</sup>。闫湘等<sup>[32-33]</sup>曾对关中地区 6 个壤土剖面的高级及基层分类进行过探索，认为其分别隶属于肥熟土垫早耕人为土、斑纹土垫早耕人为土、石灰土垫早耕人为土、普通土垫早耕人为土、普通钙积干润淋溶土，并提出将堆垫表层定义中“土表至 50 cm 有机碳加权平均值  $\geq 4.5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ”修订为“土表至 50 cm 范围内各亚层有机碳均  $\geq 4.5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ”以及增加黏化土垫早耕人为土亚类的建议，这为壤土系统分类研究奠定了基础，但因研究的剖面数量较少而缺乏对壤土系统分类全面的认识。

土壤基层分类及代表土系的建立对丰富我国土壤系统分类体系及指导农业生产具有重要意义，建立较完整的土壤信息系统，进一步加强土壤系统分类中基层分类仍是土壤分类研究的重点<sup>[34]</sup>。基于此，本文以关中地区 18 个典型壤土剖面为研究对象，旨在通过土壤野外调查、样品采集与分析，确定其诊断层和诊断特性及其在中国土壤系统分类中高级及基层分类单元归属，为壤土资源的开发与合理利用提供基础，也为进一步完善中国土壤系统分类提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

壤土的主要分布区—关中平原位于断层陷落

区，后经渭河、泾河及洛河等冲积而成。该区位于  $33^{\circ}39' \sim 35^{\circ}52' \text{N}$ ， $106^{\circ}56' \sim 110^{\circ}22' \text{E}$ ，南依秦岭，北邻黄土高原，地貌主要由冲积平原和黄土阶地平原两部分组成。属暖温带半湿润季风气候，年均温  $12^{\circ}\text{C} \sim 14^{\circ}\text{C}$ ，年均降雨量  $530 \sim 750 \text{ mm}$ ，多集中在 7—9 月。关中平原自然植被为暖温带落叶阔叶林向森林草原过渡地带，成土母质为黄土，土体深厚。壤土作为关中地区主要的耕作土壤，面积近  $1 \text{ 万 km}^2$ ，占关中农业土壤的 57%，虽然仅占陕西全省土壤总面积的 5%，但关中地区粮食产量却占到全省的 70% 以上，占据重要的生产地位<sup>[14]</sup>。

### 1.2 样品采集与分析

在第二次土壤普查形成的壤土空间分布图的基础上，参考关中平原土地利用现状及交通状况，选取 18 个典型壤土剖面作为研究对象（图 1）。野外挖掘标准土壤剖面（剖面深度 120 cm 以上，图 2），记录成土因素信息，根据颜色、质地、结构等的差异划分发生学层次，观察形态特征，并逐层采集环刀样和农化分析土样<sup>[35]</sup>。表 1 为各剖面的具体位置和成土因素等基本信息。采集的土样在实验室经自然风干后，去杂、研磨过不同孔径筛后用于测定分析。其中，有机碳采用重铬酸钾-氧化外加加热法测定，碳酸钙采用气量法测定，pH 采用电位计测定（土水比 1:2.5），容重采用环刀法测定，土壤粒径采用激光粒度仪测定<sup>[36]</sup>。

## 2 结 果

### 2.1 剖面形态特征及基本理化性质

**2.1.1 剖面形态特征** 由表 2 可以看出，壤土剖面土壤色调主要为 10YR、2.5Y，明度介于 4~6，亮度介于 2~4，变化范围较小，多数剖面表层土壤颜色较深；其中剖面 61-009 成土母质为近代河流冲积物，其色调较一般壤土剖面更为偏棕。壤土土体深厚，均在 120 cm 以上，堆垫表层（Aup+Aupb）厚度在 22~80 cm，人为堆垫痕迹明显，可观察到炭渣、砖瓦片、陶瓷碎片等人为侵入体。该层次的物质来源-土粪是经过人工熟化而来，土壤结构呈现明显的熟化特征，具有团粒状结构及蜂窝状形态。堆垫表层之下则是原被埋藏土壤，原被埋藏土壤为褐土者，则具有明显的黏化层，具有紧实的棱柱或棱块状结构，结构面可观察到黏粒胶膜，其中剖面 61-010 和 61-054 受到原低阶地草甸成土环境的影

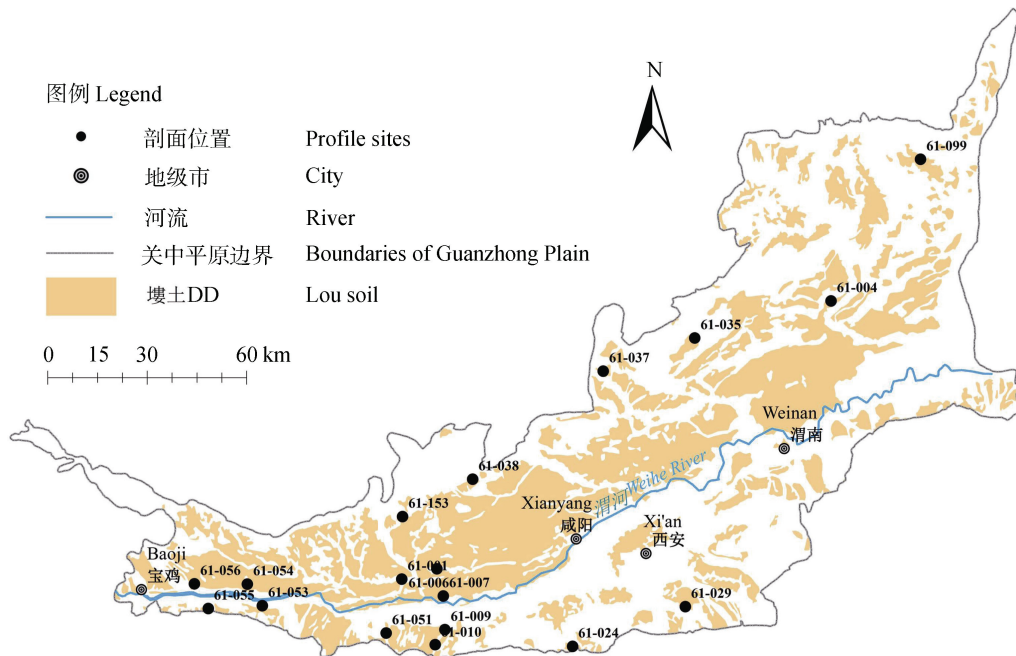


图 1 供试典型壤土样点分布图

Fig. 1 Distribution of typical Lou soil profiles in Guanzhong area

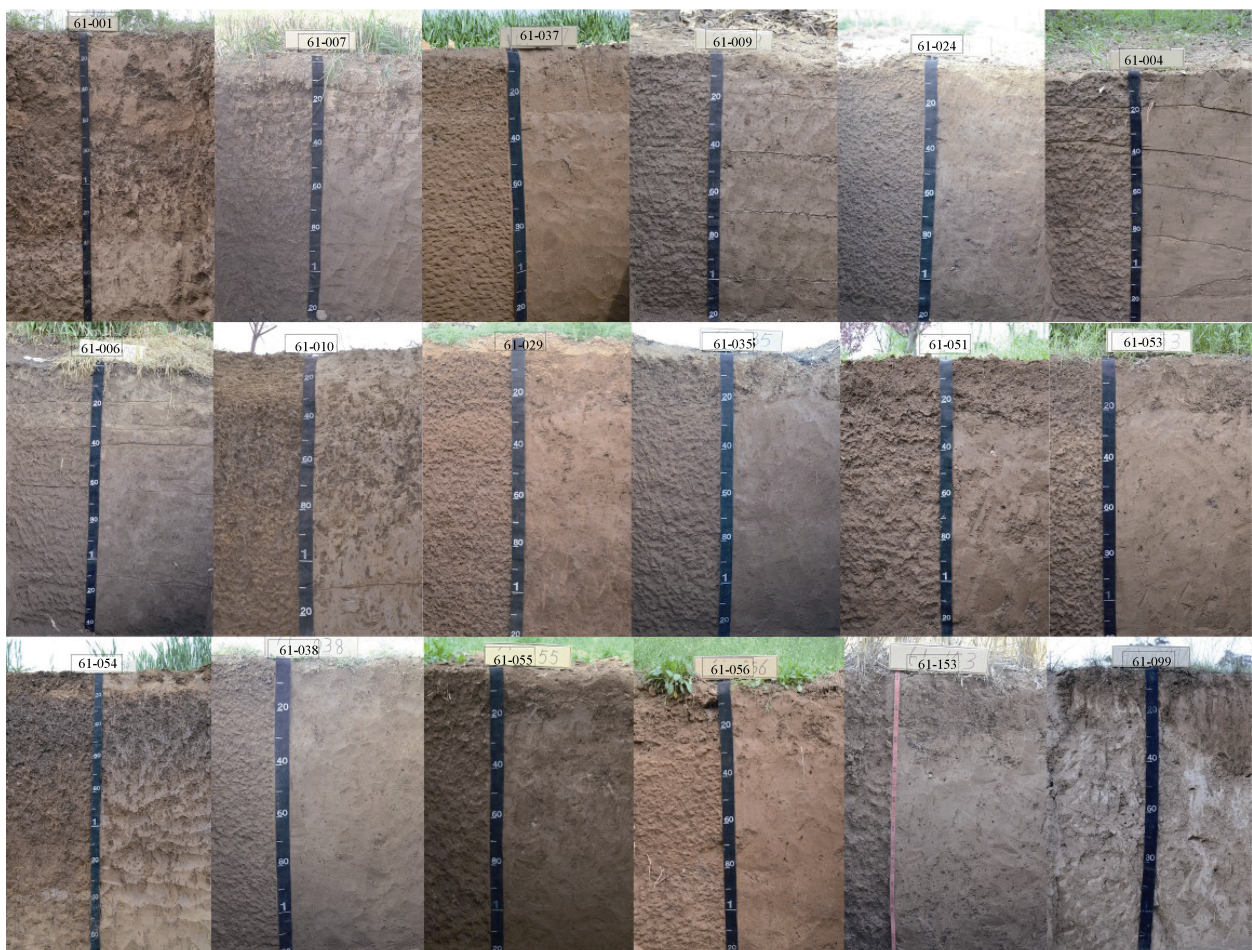


图 2 供试典型壤土剖面

Fig. 2 Selected typical Lou soil profiles

表 1 供试土壤剖面的成土环境

Table 1 Soil-forming environment of the studied soil profiles

剖面 Profile	剖面地点 Location	经纬度 Longitude & Latitude	海拔 Elevation/m	地貌地形 Terrain	成土母质 Parent material	土地利用 Land use
61-001	杨陵区	34°17'59.28"N, 108°4'8.46"E	516	渭河河流阶地—平缓塬面	黄土	旱地
61-004	蒲城县平路庙乡	34°55'18"N, 109°45'30.9"E	339	渭河河流阶地—平地	黄土	果园
61-006	武功县贞元乡	34°18'51.7"N, 108°11'56.6"E	496	黄土台塬—塬面	黄土	旱地
61-007	武功县普集镇洪寨	34°13'53.6"N, 108°12'25.7"E	425	渭河河流阶地—洼地	黄土	旱地
61-009	周至县二曲镇	34°7'54.9"N, 108°11'38.5"E	448	渭河河流阶地—平地	黄土冲积物	果园
61-010	周至县广济乡	34°5'32.4"N, 108°9'5.8"E	498	山前洪积扇—丘陵平缓地	黄土	旱地
61-024	鄠邑区石井镇	34°00'40.5"N, 108°37'44.6"E	465	山前洪积扇—中上平缓部	黄土	果园
61-029	长安区杜曲镇	34°05'10.8"N, 108°03'25.9"E	591	洪冲积扇塬地—塬面	黄土	水浇地
61-035	富平县到贤镇	34°53'2"N, 109°19'4"E	474	黄土台塬—塬面	黄土	旱地
61-037	三原县新兴镇	34°49'4"N, 108°50'36"E	778	山前洪积扇—前缘平地	黄土	旱地
61-038	礼泉县叱干镇	34°41'42"N, 108°28'12"E	1076	泾河河流阶地—塬面	黄土	果园
61-051	眉县青化镇	34°8'54"N, 107°59'3"E	550	渭河河流阶地—平地	黄土	果园
61-053	陈仓区蜀仓乡	34°16'59.21"N, 107°33'35.6"E	504	山前洪积扇—前缘平地	黄土	旱地
61-054	凤翔县虢王镇	34°21'12"N, 107°31'3"E	685	渭河河流阶地—平地	黄土	旱地
61-055	陈仓区磻溪镇	34°17'54"N, 107°21'57.81"E	744	渭河河流阶地—平地	黄土	旱地
61-056	宝鸡高新区潘家湾村	34°20'44"N, 107°18'13"E	556	渭河河流阶地—平地	黄土	荒地
61-099	合阳县坊镇	35°16'50.2"N, 110°10'0.9"E	777	黄土台塬—塬面	黄土	旱地
61-153	乾县临平镇	34°29'01"N, 108°6'21"E	572	河流阶地向台塬过渡—平缓	黄土	旱地

响,剖面 20 cm 以下各层次具有明显的腐殖质胶膜;原被埋藏土壤为黄绵土者(剖面 61-099),堆垫表层之下一一般为锥形层,具有弱发育的块状结构。受黄土母质富含碳酸钙的影响,有 14 个剖面土体具有石灰性,碳酸钙淋溶较强烈,在剖面底部形成明显的钙积层,可观测到明显的碳酸钙假菌丝体或粉末等新生体。剖面 61-009 和 61-024 中下部可观察到绣纹锈斑,具有氧化还原特征,主要是由于剖面距离渭河较近,土地用于果园并具有灌溉管理措施。

**2.1.2 土壤基本理化性质** 由表 2 可以看出,供试土壤质地以粉砂质壤土和粉砂质黏壤土为主,粉粒是各剖面含量最高的粒级(378~832 g·kg<sup>-1</sup>),黏粒含量也占有较高比例,剖面各层次黏粒含量介于 51~425 g·kg<sup>-1</sup>。大部分剖面层次 pH 位于 8~9 之间,仅剖面 61-009 和 61-024 由于受到长期灌溉和施肥的影响,表层 pH 已低于 7.0。有机碳含量介于 3.2~15.4 g·kg<sup>-1</sup>,均值为 6.61 g·kg<sup>-1</sup>,剖面各层次差异明

显,呈现从上至下递减趋势;表层平均达 8.23 g·kg<sup>-1</sup>,以下层次平均仅为 4.94 g·kg<sup>-1</sup>。容重介于 1.22~1.75 g·cm<sup>-3</sup>,平均为 1.52 g·cm<sup>-3</sup>。供试剖面 CaCO<sub>3</sub> 相当物含量跨度较大,介于 0.7 g·kg<sup>-1</sup>~176.7 g·kg<sup>-1</sup>,剖面从上至下呈现先增多后降低的变化趋势。

## 2.2 诊断层与诊断特性

**2.2.1 诊断层和诊断现象** 根据检索标准,供试剖面共涉及堆垫表层和淡薄表层 2 个诊断表层,钙积层、锥形层和黏化层 3 个诊断表下层以及堆垫现象和钙积现象 2 个诊断现象(表 3)。(1)堆垫表层:供试剖面符合堆垫表层条件的供试剖面有 13 个,均满足厚度>50 cm,在 0~50 cm 范围内有机碳加权平均值≥4.5 g·kg<sup>-1</sup>,且可见炭渣、砖瓦片、陶瓷碎片等人为侵人体。(2)淡薄表层:剖面 61-038、61-055、61-056、61-099 和 61-153 的堆垫层厚度未达到 50 cm,且不符合其他诊断表层检索,但符合淡薄表层的检索标准。(3)钙积层:剖面 61-001 和 61-007

表 2 供试土壤剖面形态特征及主要理化性质  
Table 2 Morphological characteristics and major physiochemical properties of the studied soil profiles

剖面 Profile	发生层 Horizon	深度 Depth/cm	颜色 Color	土壤新生体 Neogenic soil body	侵入体 Soil intrusions	砂粒 Sand			粉粒 Silt		黏粒 Clay	容重 Bulk density/ (g·cm <sup>-3</sup> )	pH (H <sub>2</sub> O)	有机碳 SOC/ (g·kg <sup>-1</sup> )	CaCO <sub>3</sub> / (g·kg <sup>-1</sup> )	
						2~0.05 mm	0.05~0.002 mm	<0.002 mm	0.05~0.002 mm	<0.002 mm						
61-001	Aup	0~30	10YR 5/4	-	炭渣 瓦片	320	462	218			218	1.70	8.2	9.5	26.3	
	Aupb	30~50	10YR 5/4	-	炭渣 瓦片	290	492	218			218	1.53	8.3	4.8	28.8	
	Bt	50~120	10YR 5/4	黏粒胶膜	-		295	437	268			268	1.50	8.0	5.35	3.45
	Bk	120~165	10YR 6/3	菌丝体	-		300	502	198			198	1.48	8.2	4.4	176.7
61-004	Aup	0~38	10YR 6/3	-	炭渣 瓦片 陶瓷片	44	790	166			166	1.49	8.7	8.5	92.0	
	Aupb	38~54	10YR 7/3	-	炭渣 瓦片	19	832	149			149	1.53	8.7	4.5	93.7	
	Bt	54~80	10YR 6/3	黏粒胶膜	-		36	796	168			168	1.53	8.7	5.7	113.9
	C	80~130	10YR 6/3	-	-		35	817	148			148	1.56	8.8	3.4	93.3
61-006	Aup	0~30	10YR 5/4	-	炭渣 瓦片 陶瓷片	98	765	137			137	1.55	8.2	8.2	98.6	
	Aupb	30~60	10YR 5/4	黏粒胶膜	炭渣 瓦片	93	758	149			149	1.58	8.3	5.4	67.9	
	Bw	60~120	10YR 5/4	-	-		79	774	147			147	1.59	8.6	5.6	47
	Aup	0~15	10YR 5/4	-	炭渣 瓦片	141	727	132			132	1.47	8.3	5.2	58.7	
61-007	Aupbk	15~55	10YR 6/3	-	炭渣 瓦片	81	762	157			157	1.64	8.3	11.0	101.7	
	Bt	55~85	10YR 6/3	黏粒胶膜	-		33	795	172			172	1.62	8.3	5.9	48.2
	Bw	85~120	10YR 6/3	-	-		81	766	153			153	1.67	8.5	5.3	38.2
	Aup	0~40	2.5Y 5/2	-	炭渣 瓦片	97	774	129			129	1.74	6.8	7.6	8.4	
61-009	Aupb	40~55	2.5Y 5/2	-	炭渣 瓦片	101	776	123			123	1.75	6.9	4.3	5.0	
	Btr	55~100	2.5Y 5/2	黏粒胶膜, 锈纹锈斑	-		64	769	167			167	1.64	7.3	4.1	4.1
	Br	100~120	2.5Y 5/2	锈纹锈斑	-		76	759	165			165	1.73	7.7	4.3	4.0
	Aup	0~30	10YR 6/3	腐殖质胶膜	炭渣 瓦片	86.5	642	272			272	1.65	7.9	12.8	9.6	
61-010	Aupb	30~50	10YR 5/4	腐殖质胶膜	炭渣 瓦片 陶瓷片	33	600	367			367	1.64	7.5	5.3	5.3	

续表

剖面 Profile	发生层 Horizon	深度 Depth/cm	颜色 Color	土壤新生体 Neogenic soil body	侵入体 Soil intrusions	砂粒			粉粒		黏粒 Clay	容重 Bulk density/ (g·cm <sup>-3</sup> )	pH (H <sub>2</sub> O)	有机碳 SOC/ (g·kg <sup>-1</sup> )	CaCO <sub>3</sub> / (g·kg <sup>-1</sup> )
						Sand	2~0.05 mm	0.05~0.002 mm	Silt	<0.002 mm					
61-010	Bt	50~80	10YR 5/4	黏粒胶膜 腐殖质胶膜	-	94	553	353	1.74	7.4	3.9	7.5			
	Bw	80~120	10YR 5/4	腐殖质胶膜	-	15	706	279	1.70	7.6	3.8	6.2			
61-024	Aup	0~20	10YR4/2	-	炭渣 瓦片	338	428	234	1.56	6.3	15.4	2.9			
	Aupb	20~50	10YR 5/2	-	炭渣 瓦片	338	418	244	1.64	6.3	11.5	0.7			
61-035	Btr	50~90	10YR 5/2	黏粒胶膜 腐殖质胶膜 锈纹 锈斑	-	318	378	304	1.66	7.3	5.0	1.0			
	Br	90~120	10YR 5/2	黏粒胶膜 腐殖质胶膜 锈纹 锈斑	-	298	418	284	1.57	7.6	4.5	1.0			
61-029	Aup	0~30	10YR 5/4	-	炭渣 瓦片 陶瓷片	196	577	227	1.62	8.2	10.6	12.0			
	Aupb	30~78	10YR 6/4	-	炭渣 瓦片	206	542	252	1.60	8.3	6.3	20.5			
	Bt	78~120	10YR 5/4	黏粒胶膜及胶粒	-	186	502	312	1.65	8.3	7.3	9.7			
61-037	Aup	0~40	10YR 6/4	-	炭渣 瓦片 陶瓷片	8	715	277	1.55	8.5	7.8	71.6			
	Aupb	40~80	10YR 5/4	-	炭渣 瓦片	3	743	254	1.40	8.5	4.6	91.5			
	Bw	80~120	10YR 5/4	-	-	9	733	258	1.39	8.7	3.7	70.8			
	Aup	0~33	10YR 5/4	-	炭渣 瓦片	152	797	51	1.65	8.5	6.2	106.8			
61-038	Aupb	33~50	10YR 6/4	-	炭渣 瓦片	182	677	141	1.67	8.4	8.6	97.9			
	Bt	50~70	10YR 6/3	黏粒胶膜	-	112	734	154	1.62	8.5	3.9	125.5			
61-051	Btk	70~120	10YR 6/3	碳酸钙粉末	-	110	465	425	1.36	8.4	3.2	148.0			
	Aup	0~30	10YR 6/3	-	炭渣 瓦片	320	494	186	1.36	8.6	5.4	117.5			
61-051	AB	30~50	10YR 6/3	-	-	273	537	190	1.40	8.5	4.2	133.9			
	Bt	50~120	10YR 6/3	黏粒胶膜 碳酸钙粉末	-	300	465	235	1.40	8.6	4.2	113.0			
Aup	0~34	10YR 5/4	-	炭渣 瓦片 陶瓷片	-	212	606	182	1.44	8.4	9.0	14.0			

续表

剖面 Profile	发生层 Horizon	深度 Depth/cm	颜色 Color	土壤新生体 Neogenic soil body	侵入体 Soil intrusions	砂粒 Sand 2~0.05 mm	粉粒 Silt 0.05~0.002 mm	黏粒 Clay <0.002 mm	容重 Bulk density/ (g·cm <sup>-3</sup> )	pH (H <sub>2</sub> O)	有机碳 SOC/ (g·kg <sup>-1</sup> )	CaCO <sub>3</sub> / (g·kg <sup>-1</sup> )
61-053	Aupb	34~63	10YR 5/4	-	炭渣 瓦片	185	620	195	1.55	8.4	7.4	12.1
	Bt	63~120	10YR 5/4	黏粒胶膜	-	130	580	290	1.71	8.4	5.9	13.1
	Aup	0~22	10YR 5/4	-	炭渣 瓦片	29	717	254	1.38	8.5	10.8	18.3
	Aupb	22~70	10YR 5/4	-	炭渣 瓦片	12	752	236	1.50	8.5	4.5	28.0
61-054	Bt	70~120	10YR 5/4	碳酸钙颗粒等聚集体	-	5	735	260	1.57	8.5	4.4	24.6
	Aup	0~20	10YR 5/4	-	炭渣 瓦片	153	708	139	1.48	8.4	8.9	7.9
	Aupb	20~60	10YR 5/4	腐殖质胶膜	炭渣 瓦片	158	726	116	1.51	8.4	7.6	6.4
	Bt	60~100	10YR 5/4	腐殖质-黏粒胶膜	-	167	695	138	1.56	8.5	5.7	6.2
61-055	Bw	100~130	10YR 5/4	腐殖质胶膜	-	169	703	128	1.41	8.6	4.8	5.0
	Aup	0~22	10YR 4/3	-	炭渣 瓦片	287	473	240	1.34	8.4	10.9	11.7
	BtI	22~120	10YR 5/4	黏粒胶膜	-	284	456	260	1.56	8.5	6.1	17.0
	Aup	0~25	10YR 5/3	-	炭渣 瓦片	108	689	203	1.32	8.7	12.6	72.8
61-056	Bt	25~80	10YR 5/4	黏粒胶膜	-	55	722	223	1.57	8.9	5.7	79.7
	Btk	80~120	10YR 5/4	黏粒胶膜 碳酸钙假菌丝体、 霜粉状石灰淀积	-	65	701	234	1.26	8.9	4.4	116.3
61-099	Aup	0~30	10YR 5/4	-	炭渣 瓦片	89	694	216	1.34	8.8	10.0	118.0
	Bw	30~80	10YR 5/4	-	-	63	712	225	1.22	8.9	6.0	144.2
	C	80~120	10YR 5/4	-	-	87	715	198	1.30	8.8	4.3	159.3
61-153	Aup	0~40	10YR 5/4	-	炭渣 瓦片	282	504	214	1.37	8.5	9.7	32.4
	Bt	40~90	10YR 5/4	黏粒胶膜	-	226	466	308	1.58	8.5	6.0	22.7
	2AC	90~120	10YR 5/4	腐殖质胶膜	-	330	486	184	1.46	8.3	7.1	16.6



表 3 供试土壤剖面诊断层与诊断特性

Table 3 Diagnostic horizons and characteristics of the studied soil profiles

诊断层和诊断特性	剖面号
Diagnostic horizons and diagnostic characteristics	Profile No.
堆垫表层	61-001、61-004、61-006、61-007、61-009、61-010、61-024、61-029、61-035、61-037、
Cumulic epipedon	61-051、61-053 和 61-054
淡薄表层	61-038、61-055、61-056、61-099 和 61-153
Ochric epipedon	
黏化层	61-001、61-004、61-007、61-010、61-024、61-029、61-037、61-038、61-051、61-053、
Argic horizon	61-055、61-056 和 61-153
钙积层	61-001、61-007 和 61-037
Calcic horizon	
雏形层	61-006、61-007、61-010、61-035 和 61-099
Cambic horizon	
堆垫现象	61-038、61-055、61-056、61-099 和 61-153
Cumulic evidence	
钙积现象	61-056
Calcic evidence	
温性土壤温度状况	全部剖面
Mesic soil temperature regimes	
半干润土壤水分状况	全部剖面
Ustic soil moisture regimes	
石灰性	61-001、61-004、61-006、61-007、61-029、61-035、61-037、61-038、61-051、61-053、
Calcaric property	61-055、61-056、61-099 和 61-153
氧化还原特征	61-009 和 61-024
Redox features	

均可见明显的碳酸钙假菌丝体，且未观察到胶结和硬结成钙磐现象，含次生碳酸钙土层厚度分为 45 cm 和 40 cm，剖面 61-001 钙积层碳酸钙含量较上覆土层高 175.0 g·kg<sup>-1</sup>，剖面 61-007 钙积层碳酸钙含量较下覆土层高 53.5 g·kg<sup>-1</sup>。剖面 61-037，钙积层厚度为 50 cm，碳酸钙含量为 148 g·kg<sup>-1</sup>，出现碳酸钙粉末体积约大于 5%。(4) 雏形层：5 个剖面具有雏形层，为发育弱的块状结构。(5) 黏化层：共 13 个供试剖面具有黏化层，结合表 2 和表 3，多为黏粒含量相对增高，且可见黏粒胶膜 (≥5%)，出现的上界介于 22~78 cm，厚度介于 20~98 cm。(6) 堆垫现象：剖面 61-038、61-055、61-056、61-099、61-153，均为具有堆垫表层特征，但厚度介于 20~50 cm，具有堆垫现象。(7) 钙积现象：剖面 61-056，含次

生碳酸钙土层厚度分别为 40 cm，碳酸钙含量较上覆土层高 39.2 g·kg<sup>-1</sup>，具有钙积现象。

**2.2.2 诊断特性** 由表 3 可见，供试剖面涉及 4 个诊断特性。分别为氧化还原特征、石灰性、温性土壤土温状况、半干润土壤水分状况。(1) 氧化还原特征：剖面 61-009 和 61-024 中下部土层可见锈纹、锈斑，土壤结构体表面占优势的土壤润态彩度 ≤2。(2) 石灰性：14 个供试剖面具有石灰性。这些剖面各层次呈现中度或强度的石灰反应，土表 50 cm 范围内所有亚层中 CaCO<sub>3</sub> 相当物含量均 ≥10 g·kg<sup>-1</sup>，具有石灰性。(3) 土壤温度状况：根据刘姣姣等<sup>[37]</sup>的分析，关中平原土壤温度级别均为温性。(4) 土壤水分状况：由于 18 个剖面土体均不受地下水上下迁移的影响，干燥度介于 1.21~1.45，

或由于受农田定期灌溉的影响, 研究区均为半干旱土壤水分状况。

## 2.3 在土壤系统分类中的归属

**2.3.1 高级分类归属** 根据高级分类单元检索标准, 18 个供试土壤剖面隶属于 3 个土纲、3 个亚纲、3 个土类和 5 个亚类, 其中 3 个剖面为钙积土垫旱

耕人为土, 2 个剖面为斑纹土垫旱耕人为土, 8 个剖面为普通土垫旱耕人为土, 4 个剖面为堆垫筒育干润淋溶土, 1 个剖面为普通筒育干润锥形土 (表 4)。

**2.3.2 土族的建立** 18 个供试剖面均不存在石质接触面和黏磐层, 因此土壤控制层段设为 0~100 cm, 并由之确定土族类型 (表 5) [38]。

表 4 供试土壤剖面在系统分类高级分类单元中的归属

Table 4 Classification of the studied soil profiles at high levels

土纲 Order	亚纲 Suborder	土类 Group	亚类 Subgroup	剖面编号 Profile No.
			钙积土垫旱耕人为土	61-001、61-007 和 61-037
人为土	旱耕人为土	土垫旱耕人为土	斑纹土垫旱耕人为土	61-009 和 61-024
			普通土垫旱耕人为土	61-004、61-006、61-010、61-029、 61-035、61-051、61-053 和 61-054
淋溶土 锥形土	干润淋溶土 干润锥形土	筒育干润淋溶土 筒育干润锥形土	堆垫筒育干润淋溶土 普通筒育干润锥形土	61-038、61-055、61-056 和 61-153 61-099

表 5 供试土壤土族控制层段内鉴别特征

Table 5 Identification characteristics of the studied soil in the control horizons of soil family

颗粒大小级别 Particle-size class	矿物类型 Mineral type	石灰性及酸碱度 Calcaric property and pH	土壤温度 Soil temperature	剖面编号 Profile No.
黏壤质	混合型	石灰性	温性	61-001、61-037、61-029、61-035、61-051、 61-053、61-038、61-055、61-056、61-153 和 61-099
黏壤质	混合型	非酸性	温性	61-010 和 61-054
壤质	硅质混合型	石灰性	温性	61-006 和 61-007
壤质	混合型	石灰性	温性	61-004
壤质	混合型	非酸性	温性	61-009 和 61-024

(1) 土壤颗粒大小级别: 18 个供试剖面的岩石碎屑含量均 <25%, 故没有“粗骨特性”, 其中 13 个剖面颗粒 <2mm 的部分中黏粒含量介于 20%~35%, 被检索为黏壤质, 其余 4 个供试剖面黏粒含量低于 20%, 检索为壤质。(2) 土壤矿物类型: 由于 18 个剖面的颗粒大小级别分别为黏壤质和壤质, 其矿物学类型由 0.02~2 mm (粉粒+砂粒) 颗粒决定, X 射线衍射分析结果表明, 剖面 61-006 和 61-007 剖面砂粒和粉粒中 40%~60% 为二氧化硅, 属于硅质混合型, 其余剖面二氧化硅及云母和长石含量均不符合云母、硅质和长石为主型的标准, 因此为混合型。(3) 土壤酸碱性: 14 个供试剖面中, 0~100 cm

控制层段中颗粒 <2 mm 的部分有石灰反应, 呈现石灰性。剖面 61-009、61-024、61-010 和 61-054, 在 0~100 cm 控制层段中均无石灰性, 其水提液中 pH 介于 5.9~8.6, 均大于 5.5, 为非酸性。(4) 土壤温度状况: 如前文所述, 18 个剖面的土壤温度级别均为温性。

表 6 显示, 18 个壤土剖面共隶属于 9 个土族。钙积土垫旱耕人为土亚类下建立土族: (1) 黏壤质混合型温性-钙积土垫旱耕人为土 (剖面 61-001、61-037); (2) 壤质硅质混合型石灰性温性-钙积土垫旱耕人为土 (剖面 61-007)。斑纹土垫旱耕人为土亚类下建立土族: 壤质混合型非酸性温性-斑纹土垫

表 6 供试剖面土族土系划分

Table 6 Classification of the studied soil profiles at the soil family and soil series levels

土族 Soil families	土系及代表剖面 Soil series and typical profiles	土系划分依据 Classification standard of soil series	参比土种 Soil species
黏壤质混合型温性-钙积土垫旱耕人为土	杨凌系 61-001	塬面, 层次质地构型分别为壤土-黏壤土, 钙积层出现的上界约 120 cm	红油土
	上狼沟系 61-037	洪积扇前缘, 层次质地构型为粉壤土-粉土-粉壤土-粉质黏土, 钙积层出现上界约 70 cm	塿塿土
壤质硅质混合型石灰性温性-钙积土垫旱耕人为土	普集系 61-007	/	斑纹黑油土
壤质混合型非酸性温性-斑纹土垫旱耕人为土	曹家堡系 61-024	洪积扇中上部, 色调通体为 10YR	表砾质立茬土
	二曲系 61-009	河流阶地, 色调通体为 2.5Y	红立茬土
黏壤质混合型石灰性温性-普通土垫旱耕人为土	杜曲系 61-029	塬面, 可见黏粒胶膜	黑油土
	青化系 61-051	河流阶地, 可见黏粒胶膜	红立茬土
	到贤系 61-035	塬面, 剖面组成为堆垫表层-雏形层, 无黏粒胶膜	塿塿土
	蜀仓系 61-053	洪积扇前缘, 剖面组成为堆垫表层-黏化层, 可见碳酸钙等聚集体	夹砂砾紫土
	广济系 61-010	山前洪积扇	黑立茬土
壤质混合型石灰性温性-普通土垫旱耕人为土	虢王系 61-054	河流阶地	黑紫土
	平路庙系 61-004	/	红塿土
壤质硅质混合型石灰性温性-普通土垫旱耕人为土	贞元系 61-006	/	红油土
黏壤质混合型石灰性温性-堆垫筒育干润淋溶土	相虎系 61-038	塬面, 黏化层出现上界约 50 cm, 厚约 70 cm, 可见黏粒胶膜和碳酸钙粉末	灰土
	礮溪系 61-055	河流阶地, 黏化层出现上界约 20 cm, 厚约 100 cm, 无黏粒胶膜和碳酸钙粉末	红紫土
	潘家湾系 61-056	河流阶地, 黏化层出现上界约 25 cm, 厚约 55 cm, 可见黏粒胶膜、碳酸钙假菌丝体和粉末	红紫土
	临平系 61-153	河流阶地向台塬过渡, 黏化层出现上界约 40 cm, 厚约 50 cm, 可见黏粒胶膜和腐殖质胶膜	红油土
黏壤质混合型石灰性温性-普通筒育干润锥形土	坊镇系 61-099	/	黄塿土

旱耕人为土(剖面 61-024、61-009)。普通土垫旱耕人为土亚类下建立土族:(1)黏壤质混合型石灰性温性-普通土垫旱耕人为土(剖面 61-029、61-035、61-051、61-053);(2)壤质混合型石灰性温性-普通土垫旱耕人为土(剖面 61-004);(3)壤质硅质混合

型石灰性温性-普通土垫旱耕人为土(剖面 61-006);(4)黏壤质混合型非酸性温性-普通土垫旱耕人为土(剖面 61-010、61-054)。堆垫筒育干润淋溶土亚类下建立土族:黏壤质混合型石灰性温性-堆垫筒育干润淋溶土(剖面 61-038、61-055、61-056、61-153)。

普通筒育干润锥形土亚类下建立土族：黏壤质混合型石灰性温性-普通筒育干润锥形土(剖面 61-099)。

**2.3.3 土系的建立** 土系与土壤利用管理以及农业生产密切相关,是具有实用目的的分类单元,是发育在相同母质上、处于相同景观部位、具有相同土层排列和相似土壤属性的土壤集合<sup>[38]</sup>。土系的控制层段用以体现土壤整体剖面的性状,本研究中多数剖面 0~120 cm 均未出现石质或准石质接触面,故将土系的控制层段设置为 0~120 cm。特征土层是对土系划分具有诊断意义的诊断层及一些其他特殊土层。特征土层的种类、排列、厚度、土壤理化性质、新生体数量、剖面景观条件的分异,均是土系划分的依据<sup>[39]</sup>。

如表 6 所示,18 个供试土壤剖面拟建 18 个土系。在同一土族中,将剖面 61-001 和 61-037 划为杨凌系和上狼沟系,其中剖面 61-001 位于塬面,层次质地构型为壤土-黏壤土,钙积层出现深度为 120 cm,剖面 61-037 位于洪积扇前缘,层次质地构型为粉壤土-粉土-粉壤土-粉质黏土,钙积层出现深度为 70 cm,两个剖面在控制层段内地形部位、剖面质地构型以及钙积层出现深度均有较大差异,故划为不同土系。同一土族中将剖面 61-009 和 61-024 分别划为二曲系和曹家堡系,在控制层段内存在颜色以及新生体类型的差异,其中剖面 61-009 土壤颜色为黄棕,剖面 61-024 颜色为浊黄棕,且在黏化层出现腐殖质胶膜。同一土族中,剖面 61-029 和 61-051 虽然在剖面层次组合、土壤新生体类型、层次质地等方面均无较大差异,但前者地形部位为塬面,后者为河流阶地,故分别划分为杜曲系和青化系,剖面 61-035 和 61-053 分别划分为贤系和蜀仓系,其中剖面 61-035 位于塬面,剖面组成为堆垫表层-雏形层,无土壤新生体,而剖面 61-053 洪积扇前缘,剖面组成为堆垫表层-黏化层,土壤新生体为碳酸钙等聚集体。同一土族中,剖面 61-038、61-056、61-055 和 61-153,因所处地形部位、黏化层出现深度和厚度以及土壤新生体的较大差异,故将剖面 61-038、61-055、61-056 和 61-153 分别划分为相虎系、礞溪系、潘家湾系和临平系。同一土族中,剖面 61-010 和 61-054 虽然在剖面结构、质地构型、土壤新生体

类型均无较大差异,但前者地形部位为山前洪积扇,后者为河流阶地,故分别划分为广济系和虢王系。在不同土族中,将剖面 61-007、61-004、61-006、61-099 暂划分为普集系、平路庙系、贞元系、坊镇系。

### 3 讨 论

土壤系统分类尽管以诊断层和诊断特性为依据,但发生学思想是确定诊断依据的基础,因此发生分类与系统分类应可以反映类似的土壤形成过程特征。但由于系统分类的定量化特征,使得系统分类与发生分类的参比具有不确定性。本文的结果显示,发生分类的相同土种在系统分类中却有不同的归属,如剖面 61-037(上狼沟系)与 61-035(到贤系)在发生分类中均属于壤土土种,而在系统分类中分别属于钙积土垫旱耕人为土和普通土垫旱耕人为土亚类。在发生分类中剖面 61-001(杨凌系)、61-006(贞元系)和 61-153(临平系)均属于红油土,但在系统分类中分别属于钙积土垫旱耕人为土、普通土垫旱耕人为土和堆垫筒育干润淋溶土亚类。剖面 61-009(二曲系)与 61-051(青化系)在发生分类中均属于红立茬土,在系统分类中属于斑纹土垫旱耕人为土和普通土垫旱耕人为土。发生分类重视成土条件并据此推测土壤成土过程,忽略土壤不同量化的属性,易将不同发育程度的壤土划为同一土种。实践证明土壤系统分类将定量化指标作为分类依据,更精确地体现单个土体之间的差异,解释土壤类型<sup>[38]</sup>。

堆垫层厚度是壤土系统分类归属的重要依据,为了更准确地了解壤土堆垫层厚度在空间上的分布状况,全面搜集和整理具有完整壤土剖面层次及其深度划分的 71 个壤土剖面,对堆垫层厚度进行统计。根据《陕西土种志》<sup>[40]</sup>、《陕西土壤》<sup>[24]</sup>、《西安土壤》<sup>①</sup>、《武功土壤》<sup>[41]</sup>、《宝鸡土壤》<sup>[42]</sup>、《咸阳土壤》<sup>②</sup>、《渭南土壤》<sup>[43]</sup>等资料中壤土剖面数据,壤土堆垫表层厚度跨度较大,在 17~97 cm 之间,平均值为 50.07 cm,71 个调查剖面中厚度在 50 cm 以上的占到 49.30%,由此表明近 1/2 壤土具有较厚的堆垫表层。同时堆垫表层的厚度也具有一定的生

<sup>①</sup>西安市土壤普查办公室,西安市土壤肥料工作站. 西安土壤(内部资料). 1988.

<sup>②</sup>陕西省咸阳市土壤普查办公室,陕西省咸阳市农业区划办公室. 咸阳土壤(内部资料). 1987.

产意义, 厚度大于 50 cm 的壤土小麦产量高于厚度小于 50 cm, 且远高于厚度小于 25 cm 的壤土<sup>[24]</sup>, 同时更高的厚度与 50 cm 厚度相比产量提高幅度甚微。本研究中的 18 个剖面中有 13 个的厚度大于 50 cm, 这些剖面大都分布于关中中部农业生产历史最为悠久的区域, 与关中地区农业生产的实际状况相符, 因此本结果表明将 50 cm 设定为堆垫表层检索的标准是合理的。

根据《中国土壤分类系统检索(第三版)》<sup>[1]</sup>的检索标准, 只有覆盖层超过 50 cm 的才被划归为堆垫表层, 厚度在 20~50 cm 的被认为是堆垫现象。覆盖层厚度达到堆垫表层的标准的壤土被划为土垫旱耕人为土, 达不到堆垫表层标准的壤土多数划归为干润锥形土或干润淋溶土。剖面 61-038、61-055、61-056、61-153 供试土壤在系统分类中属于筒育干润淋溶土土类下设的堆垫筒育干润淋溶土。剖面 61-099 在系统分类中归属于筒育干润锥形土土类, 根据检索<sup>[1]</sup>, 当干润锥形土不满足灌淤、铁质、底锈、暗沃的标准时则被划为筒育干润锥形土, 而在筒育干润锥形土土类下仅设普通筒育干润锥形土 1 个亚类, 虽然已经增设了钙积筒育干润锥形土, 但并未反映具有壤土堆垫特征的亚类, 为此建议在筒育干润锥形土土类下再增设一个堆垫筒育干润锥形土亚类, 以进一步完善中国土壤系统分类。

## 4 结 论

调查的关中地区 18 个典型壤土剖面在中国土壤系统分类中, 归属于 3 个土纲、3 个亚纲、3 个土类和 5 个亚类(钙积土垫旱耕人为土、斑纹土垫旱耕人为土、普通土垫旱耕人为土、堆垫筒育干润淋溶土和普通筒育干润锥形土), 可以划分为 9 个土族和 18 个土系。相较于发生分类, 土壤系统分类可以更精确地体现和表征土壤发育过程及发育程度的差异, 壤土的堆垫表层 50 cm 厚度的标准仍适用于典型壤土的系统高级分类。针对壤土归属于筒育干润锥形土的壤土情况, 为进一步完善中国土壤系统分类, 强化堆垫现象的区分能力和分类的准确性, 建议在筒育干润锥形土土类下增设堆垫筒育干润锥形土亚类。

## 参考文献 (References)

- [ 1 ] Chinese Soil Taxonomy Research Group, Institute of Soil Science, Academy Sciences, Cooperative Research Group

on Chinese Soil Taxonomy. Keys to Chinese Soil Taxonomic Classification. 3rd ed. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2001. [中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组, 中国土壤系统分类课题研究协作组. 中国土壤系统分类检索. 第 3 版. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001.]

- [ 2 ] Hseung Y. Soil in China. 2nd ed. Beijing: Science Press, 1987. [熊毅. 中国土壤(第二版). 北京: 科学出版社, 1987.]
- [ 3 ] Gong Z T, Chen Z C, Zhang G L. World reference base for soil resources ( WRB ): Establishment and development[J]. Soils, 2003, 35 ( 4 ): 271—278. [龚子同, 陈志诚, 张甘霖. 世界土壤资源参比基础( WRB ): 建立和发展[J]. 土壤, 2003, 35 ( 4 ): 271—278.]
- [ 4 ] Soil Survey Staff. Keys to soil taxonomy. 12th ed. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Washington, DC: United States Government Printing Office, 2014.
- [ 5 ] Wu K N, Gao X C, Zha L S, et al. Soil taxonomy of artificial soils containing artifacts typical of Henan Province[J]. Acta Pedologica Sinica, 2017, 54 ( 5 ): 1091—1101. [吴克宁, 高晓晨, 查理思, 等. 河南省典型含有人工制品土壤的系统分类研究[J]. 土壤学报, 2017, 54 ( 5 ): 1091—1101.]
- [ 6 ] Peng T, Zhang L, Sheng H, et al. Soil taxonomy of paddy soils developed from Quaternary laterite in eastern Hunan Province in China[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46 ( 20 ): 324—328. [彭涛, 张亮, 盛浩, 等. 湘东第四纪红土发育水稻土在中国土壤系统分类中的归属[J]. 江苏农业科学, 2018, 46 ( 20 ): 324—328.]
- [ 7 ] Qu X L, Long H Y, Xie P, et al. Pedogenesis and taxonomy of anthropogenic-alluvial soil in the Ningxia Yellow River irrigation zone[J]. Acta Pedologica Sinica, 2017, 54 ( 5 ): 1102—1114. [曲潇琳, 龙怀玉, 谢平, 等. 宁夏引黄灌区灌淤土的成土特点及系统分类研究[J]. 土壤学报, 2017, 54 ( 5 ): 1102—1114.]
- [ 8 ] Meuser H, Blume H P. Characteristics and classification of anthropogenic soils in the Osnabrück area, Germany[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2001, 164 ( 4 ): 351—358.
- [ 9 ] Du G H, Zhang G L, Gong Z T. Placement of paddy soils of the Yangtze Delta in the Chinese Soil Taxonomy [J]. Soils, 2007, 39 ( 5 ): 684—691. [杜国华, 张甘霖, 龚子同. 长江三角洲水稻土主要土种在中国土壤系统分类中的归属[J]. 土壤, 2007, 39 ( 5 ): 684—691.]
- [ 10 ] Jia H Y. Preliminary study on the formation of ancient man-made soil in China - Formation of irrigated silt, Lou Soil and thick mature soil[J]. Agricultural Archaeology, 1997 ( 3 ): 196—201. [贾恒义. 中国古代人为土形成初探-灌淤土、壤土和厚熟土之形成[J]. 农业考古, 1997 ( 3 ): 196—201.]
- [ 11 ] Du J. Chinese anthrosols research and its agricultural cultural properties[J]. Journal of South China Agricultural

- University (Social Science Edition), 2017, 16(5): 124—131. [杜鹃. 中国人为土的文化属性及其研究进展[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2017, 16(5): 124—131.]
- [12] Du J. Study on the formation of tillage horizon in Guanzhong Plain[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2014. [杜娟. 关中平原土壤耕作层形成过程研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2014.]
- [13] Pan J X. Formation and maturation of Lou Soil[J]. Chinese Journal of Soil Science, 1961, 5(2): 20—25. [潘季香. 壤土的形成和熟化[J]. 土壤通报, 1961, 5(2): 20—25.]
- [14] Liu P S. Soil structure and fertility of Guanzhong Lou Soil[J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forest, 1980, 44(1): 17—29. [刘鹏生. 关中壤土的土体构造及其肥力[J]. 西北农林科技大学学报, 1980, 44(1): 17—29.]
- [15] Pang J L, Huang C C, Zha X C, et al. Forming process of diagnostic horizon of Loutu soil and its significance in Guanzhong areas[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(4): 1064—1072. [庞奖励, 黄春长, 查小春, 等. 关中地区壤土诊断层的形成过程及意义探讨[J]. 中国农业科学, 2008, 41(4): 1064—1072.]
- [16] Zhu X M. Lou soil[M]. Beijing: Agriculture Press, 1964. [朱显谟. 壤土[M]. 北京: 农业出版社, 1964.]
- [17] Gong Z T, et al. Chinese Soil Taxonomy: Theory, method and practice[M]. Beijing: Science Press, 1999. [龚子同, 等. 中国土壤系统分类: 理论·方法·实践[M]. 北京: 科学出版社, 1999.]
- [18] Liu D S. Loess and environment[M]. Beijing: Science Press, 1985. [刘东生. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985.]
- [19] Huang C C. The deterioration of land resources and the change in human-earth relationships in the Weihe River Basin at 3100 a.B.P. [J]. Scientia Geographica Sinica, 2001, 14(1): 30—35. [黄春长. 渭河流域 3100 年前资源退化与人地关系演变[J]. 地理科学, 2001, 14(1): 30—35.]
- [20] Pan J H. Evolution of Pedogenetic Characteristics of the Earth-Cumuli-Orthic Anthrosols[D]. Nanjing: Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, 2008. [潘继花. 土垫旱耕人为土发生特性的演变[D]. 南京: 中国科学院南京土壤研究所, 2008.]
- [21] Pan J H, Zhang G L. Migration and enrichment of some trace elements in earth-cumuli-orthic anthrosols[J]. Acta Pedologica Sinica, 2009, 46(6): 982—990. [潘继花, 张甘霖. 土垫旱耕人为土中某些痕量元素的迁移富集特征及其成因[J]. 土壤学报, 2009, 46(6): 982—990.]
- [22] Chang Q R, Yan X, Lei M, et al. Discussion on Lou Soil position in soil classification[J]. Journal of Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forest (Natural Science), 2001, 29(3): 48—52. [常庆瑞, 阎湘, 雷梅, 等. 关于壤土分类地位的讨论[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2001, 29(3): 48—52.]
- [23] Shaanxi Agricultural Survey and Design Institute. Agricultural soil in Shaanxi Province[M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1982. [陕西省农业勘察设计院. 陕西农业土壤[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1982.]
- [24] Soil Survey Office of Shaanxi Province. Shaanxi soil[M]. Beijing: Science Press, 1992. [陕西省土壤普查办公室. 陕西土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1992.]
- [25] Qi Y B, Chang Q R, Huang Y, et al. Review on genetic characteristics and classification of Lou Soil in Guanzhong area[J]. Soils, 2019, 51(2): 211—216. [齐雁冰, 常庆瑞, 黄洋, 等. 关中壤土发生特性与分类研究进展[J]. 土壤, 2019, 51(2): 211—216.]
- [26] Jia H Y, Yong S P, Tian J Y, et al. Preliminary study on diagnostic characteristics of Lou Soils[M] //Editor Board of Serious Research Book on Chinese Soil Taxonomy. Progress in Chinese Soil Taxonomy. Beijing: Science Press, 1993: 311—316. [贾恒义, 雍绍萍, 田积莹, 等. 壤土的诊断特性刍议[M]//《中国土壤系统分类研究丛书》编委会. 中国土壤系统分类进展. 北京: 科学出版社, 1993: 311—316.]
- [27] Tian J Y, Yong S P, Jia H Y. Approaching on profile pattern and diagnostic horizons of Lou Soil[M] //Editor Board of Serious Research Book on Chinese Soil Taxonomy. Discussion on Chinese Soil Taxonomy. Beijing: Science Press, 1994: 153—157. [田积莹, 雍绍萍, 贾恒义. 壤土土体构型及其诊断特性的探讨[M]//《中国土壤系统分类研究丛书》编委会. 中国土壤系统分类新论. 北京: 科学出版社, 1994: 153—157.]
- [28] Shi C H, Gong Z T. Diagnostic horizon and diagnostic characteristic of Lou Soil[M]//Editor Board of Serious Research Book on Chinese Soil Taxonomy. Discussion on Chinese Soil Taxonomy. Beijing: Science Press, 1994: 158—162. [史成华, 龚子同. 壤土的诊断层和诊断特性[M]//《中国土壤系统分类研究丛书》编委会//中国土壤系统分类新论. 北京: 科学出版社, 1994: 158—162.]
- [29] Chinese Soil Taxonomy Research Group, Institute of Soil Science, Academia Sinica, Cooperative Research Group on Chinese Soil Taxonomy. Chinese Soil Taxonomy[M] (1st proposal). Beijing: Science Press, 1991. [中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题, 中国土壤系统分类课题研究协作组. 中国土壤系统分类(首次方案)[M]. 北京: 科学出版社, 1991.]
- [30] Chinese Soil Taxonomy Research Group, Institute of Soil Science, Academia Sinica. Chinese Soil Taxonomy (1st draft) [J]. Soils, 1985, 17(6): 290—318. [中国科学院南京土壤研究所分类课题组. 中国土壤系统分类初拟[J]. 土壤, 1985, 17(6): 290—318.]
- [31] Chinese Soil Taxonomy Research Group, Institute of Soil Science, Academia Sinica. Chinese Soil Taxonomy (2nd

- draft) [J]. *Progress in Soil Science (Special issue of Soil Taxonomy)*, 1987, 23 (4): 69—104. [中国科学院南京土壤研究所土壤分类课题组. 中国土壤系统分类(二稿)[J]. 土壤学进展(土壤系统分类研讨会特刊), 1987, 23 (4): 69—104.]
- [ 32 ] Yan X, Chang Q R, Pan J P. Classification of Lou soil in Chinese soil taxonomy in Guanzhong region[J]. *Soils*, 2004, 36 (3): 318—322, 330. [闫湘, 常庆瑞, 潘靖平. 陕西关中地区壤土在系统分类中的归属[J]. 土壤, 2004, 36 (3): 318—322, 330.]
- [ 33 ] Yan X, Chang Q R, Wang X Q, et al. Basic soil categories of Earth-Cumulic Orthic Anthrosols area in Guanzhong, Shaanxi Province[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42 (4): 537—544. [闫湘, 常庆瑞, 王晓强, 等. 陕西关中土垫旱耕人为土样区的基层分类研究[J]. 土壤学报, 2005, 42 (4): 537—544.]
- [ 34 ] Li D C, Zhang G L. On difficulties and countermeasures in describing soil series in Chinese Soil Taxonomy[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2016, 53 (6): 1563—1567. [李德成, 张甘霖. 中国土壤系统分类土系描述的难点与对策[J]. 土壤学报, 2016, 53 (6): 1563—1567.]
- [ 35 ] Zhang G L, Li D C. Manual of field soil description and sampling[M]. Beijing: Science Press, 2017. [张甘霖, 李德成. 野外土壤描述与采样手册[M]. 北京: 科学出版社, 2017.]
- [ 36 ] Zhang G L, Gong Z T. Soil survey and laboratory methods[M]. Beijing: Science Press, 2012. [张甘霖, 龚子同. 土壤调查实验室分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2012.]
- [ 37 ] Liu J J, Qi Y B, Chen Y, et al. Assessment of soil moisture and temperature regime classes in Shaanxi Province[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2017, 48 (2): 335—342. [刘姣姣, 齐雁冰, 陈洋, 等. 陕西省土壤温度和水分状况估算[J]. 土壤通报, 2017, 48 (2): 335—342.]
- [ 38 ] Zhang G L, Wang Q B, Zhang F R, et al. Criteria for establishment of soil family and soil series in Chinese Soil Taxonomy[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50 (4): 826—834. [张甘霖, 王秋兵, 张凤荣, 等. 中国土壤系统分类土族和土系划分标准[J]. 土壤学报, 2013, 50 (4): 826—834.]
- [ 39 ] Du G H, Zhang G L, Luo G B. Soil series division in Huaibei plain sample area. *Soils*, 1999, 31 (2): 70—76. [杜国华, 张甘霖, 骆国保. 淮北平原样区的土系划分. 土壤, 1999, 31 (2): 70—76.]
- [ 40 ] Zhang X L, Yu J B. Soil species in Shaanxi. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1993. [张相麟, 喻建波. 陕西土种志. 西安: 陕西科学技术出版社, 1993.]
- [ 41 ] Shaanxi Agricultural Zoning Office, Northwest Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences. Wugong soil[M]. Xian: Shaanxi Science and Technology Press, 1987. [陕西省农业区划办公室, 中国科学院西北水土保持研究所. 武功土壤[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1987.]
- [ 42 ] Soil Survey Office of Baoji City, Shaanxi Province. Baoji soil[M]. Xian: Shaanxi Science and Technology Press, 1989. [陕西省宝鸡市土壤普查办公室. 宝鸡土壤[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1989.]
- [ 43 ] Mei C H, et al. Weinan soil[M]. Yangling, Shaanxi: Tianze Press, 1990. [梅畅和, 等. 渭南土壤[M]. 陕西杨陵: 天则出版社, 1990.]

(责任编辑: 檀满枝)