

# 关中塿土发生特性与分类研究进展<sup>①</sup>

齐雁冰, 常庆瑞, 黄 洋, 刘梦云

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100)

**摘 要:** 塿土是关中地区受人类活动影响深刻的重要农业土壤, 而对其发生分类及系统分类的归属仍有较大争议。本文综述了塿土的形成过程和成土过程特点, 塿土发生分类归属的变更, 系统分类的主要诊断层、诊断特性和诊断现象, 高级分类单元归属及空间分布, 基层分类单元的主要诊断指标等方面的研究进展。在此基础上, 展望了塿土需要进一步开展的研究工作包括 3 个方面: 深入理解人为影响下塿土的成土过程, 量化分析覆盖层的形成过程; 开展塿土覆盖层厚度调查, 界定堆垫表层的厚度标准; 进行土壤普查, 建立塿土代表土系。

**关键词:** 塿土; 发生特性; 系统分类; 人为土; 堆垫表层

**中图分类号:** S155      **文献标识码:** A

塿土主要分布在陕西关中渭河两侧地势平坦的高阶地上, 不但是我国最古老的耕种土壤之一, 而且曾经历过长期与强烈的人为熟化过程, 是典型的历史自然体与劳动人民长期生产劳动的综合体。通常认为该类土壤是在原褐土的基础上, 长期施用土粪而使表层不断增厚致使原褐土剖面被埋藏, 上层覆盖层与原土层次在理化性质上截然不同, 土壤发生过程改变, 显著区别于被埋藏的褐土<sup>[1]</sup>。塿土分布区素有 800 里秦川之称, 是我国人类活动开始较早、水热资源优越、土壤生产潜力大的地区, 同时南依秦岭北接黄土高原, 即是历史上重要的政治文化中心, 也是发展农业的优良基地。然而, 由于典型的上下两段式层次结构, 长期以来针对塿土的发生学分类和系统分类常因概念模糊、界线不清的问题, 一直争议不断<sup>[2]</sup>, 进而限制了塿土资源的科学利用, 特别是随着目前土壤系统分类基层分类工作的深入开展, 为塿土建立科学的土壤系统分类体系已是必然趋势。

自建国初期开始, 国内外学者就对塿土的形成过程、分类归属进行过较多的调查与研究, 从关中地区土壤类型的调查开始, 对塿土这一长期受人为活动影响的农业土壤的覆盖层形成过程及生产特性进行了较为详细的描述<sup>[3-4]</sup>, 而塿土一名也是自 1964 年朱显谟《塿土》<sup>[1]</sup>一书的出版而起, 之后对塿土从发生分类到系统分类均进行过较多的阐述, 这些调查与研究

成果对于认识塿土的性质及其分类积累了丰富的资料和经验。然而, 目前有关塿土的形成过程及其分类归属仍然存在较大的分歧, 在发生分类阶段塿土的归属就曾几经变更<sup>[2]</sup>, 到系统分类阶段, 塿土应归为淋溶土纲(或雏形土纲)还是人为土纲仍然有较大的争议。了解塿土的发生特性, 建立完整的塿土系统分类体系, 特别是土族和土系的基层分类是完善我国土壤分类体系及科学合理利用塿土的基础性工作。基于此, 本文综述近年来塿土的发生特性、发生分类与系统分类研究进展, 以为推动塿土的系统分类研究提供依据。

## 1 塿土的发生特性

### 1.1 塿土的形成过程

关中平原位于秦岭和渭北山系之间, 系地塹式构造平原, 是中华民族的发祥地和古代文明的摇篮。我国农民对于土壤的重视程度是其他民族无法比拟的, “精耕细作”、“种田如绣花”等深刻地描述了我国古代人民对于地表的利用与改造程度, 强烈的人为活动对该区域自然资源和生态环境的利用和改造非常深刻, 对土壤的影响极为显著, 使该区域原自然土壤的形成过程遭到破坏, 正常的土壤发育过程中断, 代之以人工熟化培肥过程产生, 从而形成了一种新的土壤<sup>[1]</sup>。塿土的地球化学过程、特征与环境变化对塿土的系统分

基金项目: 陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2017JM4016)资助。

作者简介: 齐雁冰(1976—), 男, 河南淮阳人, 博士, 副教授, 主要从事土地资源与空间信息技术方面的教学与研究工作。E-mail: ybqi@nwsuaf.edu.cn

类、利用和改良均有重要的理论价值和实际意义,并能反映特定的土壤形成过程及其相应的环境条件。

壤土剖面可以分为两部分,一般认为下部为全新世早中期形成的自然土壤——褐土,它以晚更新世马兰黄土为形成母质,上部是风成黄土沉积和人类长期使用土粪堆垫并进行耕作熟化共同作用而形成的堆垫层<sup>[1]</sup>。堆垫熟化层可分为现代耕作层、古熟化层、古耕层、古耕腐殖质层等多层结构。由于这种剖面组成的特殊性,使得壤土不同层次的性质反映了不同阶段的成土环境。而有关堆垫层的形成目前比较统一的观点是覆盖层主要是人类长期施用土粪堆垫并进行耕作熟化的结果,但不排除黄土沉降及沙尘暴等自然影响<sup>[5]</sup>。庞奖励等<sup>[6]</sup>的研究结果认为,堆垫层是 2 000 a 以来人类施加土粪、农业耕作活动和风尘堆积同时作用的综合产物,其特征更多地受到人类活动强度和方式的控制。据潘继花<sup>[7]</sup>的研究,壤土现代耕作层距今约 3 100 a,埋藏耕作层距今约 3 100~5 200 a,黏化层距今约 3 100~8 600 a。而随剖面层次由上到下,人为活动的影响逐渐减弱,到古耕层以下基本不受人为活动的影响<sup>[8]</sup>。杜鹃等<sup>[9]</sup>的研究表明,土粪施加是关中平原土壤耕作层堆垫增厚的关键环节,在关中古代的土壤培肥过程中,休耕、草肥、蚕屎、人畜粪尿、旧墙土、绿肥种植是主要方式。汉至明代,农业生产中都实行以土拌粪的施肥方式,但表现出较强的种植方式与作物选择的倾向性,在区田法以及蔬菜瓜果类经济作物的种植中才有施加土粪的记录。清至民国时期,复种指数的显著提高对地力要求更高,积制与施加土粪的过程明显增强,这也是关中壤土上部覆盖层快速堆垫的时期。在人为堆垫过程的同时总是伴随着自然粉尘的堆积作用,但随着农业发展水平及土地生产力需求的提高,土粪在土壤耕作层成土物质组成中的比例也会提高。关中平原水利灌溉的功效除补给水分以外,更为重要的作用在于灌溉携带的河流泥沙参与土壤耕作层的形成与熟化过程中<sup>[10]</sup>。

堆垫层的厚度既是壤土肥力水平的表征,也是进行土壤系统分类时诊断层的重要依据。在堆垫层增厚的过程中,土粪中土的来源一般是村庄村民集中就近取土,这也是关中地区村庄附近现大量土壤的原因。刘鹏生<sup>[11]</sup>曾在杨凌附近(原西北农学院附近)约 5 km<sup>2</sup>的范围内对 34 个土壤进行了调查,计算出的土方量与堆垫层 50 cm 厚度所需土方量很接近。受到人为活动的影响,堆垫层厚度在空间上分布十分不均,无论在小尺度还是大尺度空间上差异非常明显,最薄的仅 25 cm 左右,厚的可以达到 100 cm 以上。在大的空

间尺度上人类活动越早、人口越密集的地区堆积越厚,如安战士<sup>[3]</sup>在有关关中平原土壤调查的介绍中指出,古耕灰褐土(后称为壤土)以武功、兴平、咸阳、西安一带堆垫层最厚,其次为凤翔、扶风、宝鸡一带,而西安以东渭南南塬最薄;在小尺度空间上,刘鹏生<sup>[11]</sup>在杨凌的崔东沟、曹辛庄和杜寨等村庄的调查显示,堆垫层厚度随距离村庄距离的增大而降低,在村庄 0~20 m 的距离内,堆垫层厚度在 55~94 cm,而距离村庄 500 m 后堆垫层厚度降低至 35 cm。

## 1.2 壤土的成土过程

壤土分布在关中平原平坦的阶地上,成土母质为黄土性沉积物。分布区属暖温带半湿润季风气候,以落叶阔叶林植被为主。壤土的典型两段式层次结构表明,壤土的成土过程是在自然成土过程与人为成土过程共同作用下形成的。据此,可以将壤土的成土过程划分为自然成土过程、人为成土过程与自然-人为复合过程 3 个方面。剖面的下段为原褐土,成土过程以自然成土过程为主,几乎不受人为活动的影响;上段为堆垫层,主要是人为成土过程;在堆垫层与褐土过渡段则为自然-人为复合过程。

原褐土段的自然成土过程主要包括黏化过程和钙积过程<sup>[12]</sup>。黏化过程是褐土的主要成土过程,在湿热与干湿交替的季风气候条件下,土体内风化发育强烈,原生矿物分解成次生黏土矿物,黏土矿物因遇水失钙分散而随水分下渗,发生机械淋溶,在下部一定深度内淀积而形成明显的黏化层。钙积过程是在黄土母质中碳酸钙随水分向下淋溶与聚集基础上形成钙积层。在雨季土体内碳酸盐和重碳酸盐随水分下行发生淋溶,到干旱季节可溶性碳酸盐又随毛管水上行而在黏化层下部淀积。

人类在褐土表层将自然植被转变为栽培植被的过程也就将褐土的自然成土过程为主转变为现代人为耕作堆垫过程为主的过程,因此现代壤土的成土过程以熟化过程为主。这种熟化是以人为在原褐土表层长期施加土粪、翻耕、灌溉、栽培、收割的影响下,把土壤推向更适宜于生产要求并渐渐受人为控制和改造的旱耕熟化过程<sup>[2]</sup>。长期人为堆垫熟化的结果是在原土壤顶部覆盖一定厚度的比较疏松多孔的土层,该覆盖层常能观察到炭渣、瓦片等侵入体。

在覆盖层逐渐形成并渐进增厚的过程中,由于堆垫层的主要物质来源——土粪是农户将黄土与作物秸秆、厩肥等相结合发酵的产物,黄土中含大量的碳酸钙,在雨季可溶性碳酸盐随水向下淋溶,并在覆盖层与褐土层过渡段形成碳酸钙淀积层,此过程称为复

钙过程<sup>[13]</sup>。此复钙过程中的碳酸钙来源则是人为作用的产物,而碳酸钙的淋溶和淀积则是自然过程带来的,因此此复钙过程是自然与人为复合作用的结果。因此,在典型的壤土剖面上能够观测到位于覆盖层与褐土层过渡层段的钙积层和位于褐土黏化层之下的钙积层。

## 2 壤土的发生分类

壤土的两段式结构自有关中土壤调查以来就已被得到一致认可,但有关其名称及分类却几经变更。有关关中渭河流域土壤分布在我国一些古代著作中已有提及,《禹贡》和《管子地员篇》中均将此地土壤称为“垆土”<sup>[1]</sup>,则是因为先秦时期人类活动对土壤的影响还较小,土表覆盖层较薄,剖面上仅形成“垆土层”。1949年以前国内外多位学者在关中地区进行土壤调查,均错误地认为覆盖层是风和水的新近沉积物,称此地主要土壤为栗钙土和埋藏栗钙土<sup>[14-16]</sup>。1958—1959年西北农学院对关中渭河流域的土壤开展了详细调查<sup>[3-4]</sup>,这次调查虽然纠正了前期对于覆盖层成因的认识,但对于成土过程的认识不够深入,而认为该地区土壤为耕灌灰褐土或古耕灰褐土。直到1964年朱显谟先生借鉴群众的叫法称此地土壤为壤土,并出版《壤土》一书,对壤土覆盖层的形成、壤土的成土过程、理化性质、改良利用进行了详细描述,壤土的名称才被正式确定下来并被众多学者所了解。之后,施卫省<sup>[13]</sup>对壤土的发生特性和区域分异开展了深入研究。

对于壤土的发生分类的分歧也一直围绕壤土作为独立的土类还是其母土——褐土土类的亚类。《壤土》一书将壤土作为一个土类,分为立茬土、油土、垆土和黄壤土 4 个亚类<sup>[1]</sup>。第一次全国土壤普查,壤土被作为一个独立的土类,但 1965 年其又被作为一个亚类。第二次土壤普查初期,壤土被作为一个单独土类,并将其分为垆壤土、立茬壤土、油壤土、黑瓣壤土 4 个亚类<sup>[2, 7]</sup>,相应出版的《陕西农业土壤》将壤土土类划分为油土、垆土、立茬土、黄壤土、淤壤土和斑斑壤土 6 个亚类<sup>[17]</sup>,地区性土壤著作《西安土壤》和《武功土壤》<sup>[18]</sup>也将壤土作为独立土类。20 世纪 80 年代中期,为了全面总结第二次全国土壤普查成果并对土壤分类制定统一标准,在昆明制定了“中国土壤分类系统”,此分类系统将壤土作为褐土的亚类确定下来,相应的《陕西土壤》<sup>[12]</sup>、《中国土

壤普查技术》<sup>[19]</sup>和《中国土壤(第二版)》<sup>[20]</sup>,以及此后的有关土壤地理学教材都把壤土划为褐土的亚类。

《陕西土壤》中将壤土亚类划分为油土、红壤土、灰壤土、立茬土、斑斑土和壤壤土 6 个土属<sup>[12]</sup>。2001 年,常庆瑞等<sup>[2]</sup>就壤土的发生分类归属的讨论认为,覆盖层厚度>50 cm 可以将壤土作为一个独立土类,如果<50 cm,则归为褐土的亚类。自此之后,未再见到有关壤土发生分类的相关报道。

## 3 壤土的系统分类

### 3.1 壤土在系统分类中的归属

人为活动对土壤的影响深刻,为了体现人类农业生产活动对土壤的影响,世界土壤资源参比基础(WRB)土壤分类中根据中国土壤学家的意见,采用了灌淤层、堆垫层、草垫层、厚熟层和水耕层系列诊断层划分出灌淤土、草垫土(欧洲堆垫土)、堆垫土、厚熟土和水耕人为土(水稻土)<sup>[21]</sup>。美国土壤系统分类中尽管未在土纲级别上单独列出人为土土纲,但在诊断层上设立有人为表层、草垫表层,并设立人为扰动和人为转运物质等特性,在相应的人为扰动正常新成土及厚层始成土中均有体现<sup>[22]</sup>。1999 年,我国土壤系统分类明确设定人为土土纲,下设水耕人为土和旱耕人为土两个亚纲,旱耕人为土中专门针对壤土,设立了土垫旱耕人为土土类。而实际上在此之间,有关壤土在系统分类中的归属几经变更,1985 年《中国土壤系统分类初拟》<sup>[23]</sup>将壤土列为半干润硅铝土亚纲的独立土类,下设典型壤土、淋溶壤土、石灰性壤土和潮壤土 4 个亚类。1987 年《中国土壤系统分类(二稿)》<sup>[24]</sup>将其更改为典型壤土和潮壤土两个亚类,而 1991 年出版的《中国土壤系统分类(首次方案)》<sup>[25]</sup>将壤土划归人为土亚纲下的土类,也在新成土土纲中设置了人为新成土亚纲,到 2002 年的《中国土壤系统分类(第三版)》<sup>[26]</sup>中将符合检索条件的壤土归为土垫旱耕人为土,如果不符合检索标准的,基本划归为淋溶土或雏形土。如闫湘等<sup>[27]</sup>采集的 6 个壤土剖面中有 5 个划归为土垫旱耕人为土,另 1 个壤土则因堆垫层厚度未达到 50 cm 而被划归为钙积干润淋溶土。

### 3.2 壤土的高级分类单元

土壤系统分类中高级单元主要反映土壤发生过程,即体现较长时间尺度和较大空间尺度上的成土因素的影响<sup>[26]</sup>。壤土诊断层及诊断特性也备受学者们的关注<sup>[28-30]</sup>。作为受人类活动影响深刻、具有典型堆

垫层次的壤土,其系统分类首要的诊断层就是堆垫表层,在一些长期种植蔬菜的壤土表层可能形成肥熟表层,对于覆盖层厚度不足 50 cm 的壤土其表层称堆垫现象;对于表下层,除长期耕作形成的耕作垫积层(犁底层)外,其余诊断表下层基本与淋溶土或雏形土一致,如黏化层、钙积层或雏形层。诊断特性相对简单,壤土分布区土壤温度基本属于温性土壤温度状况,半干旱土壤水分状况,并具有石灰性,个别地下水位稍高地方还会有氧化还原特性,甚至在一些地方还会有盐积现象。

目前对于壤土发生过程的认识已经较为充分,诊断层及诊断特性已较完备。土纲主要包括人为土、淋溶土和雏形土。壤土的高级分类单元归并的关键在于覆盖层的厚度,按照《中国土壤系统分类(第三版)》<sup>[26]</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,而在壤土分布区,据前人的调查结果推断能划归为土垫旱耕人为土的壤土主要分布在关中中部地区,具体包括扶风-杨凌-兴平-咸阳-西安一带,此段内南北方向上平原较宽,地表平整度较高,土垫旱耕人为土连片分布;此带向西能归为土垫旱耕人为土的壤土在连续性上逐渐减少,在南北靠近秦岭和台塬区的地方堆垫层逐渐变薄,达不到堆垫表层的标准,而应归属干润淋溶土;向东平原也逐步变窄,降水较平原中部和西部少,划归为土垫旱耕人为土的壤土的连片性也逐渐降低,覆盖层厚度达不到堆垫表层标准的壤土通常划归为干润雏形土。

### 3.3 壤土的基层分类单元

土壤基层分类体现小空间尺度及短期时间尺度上成土因素作用的变异性,我国土壤基层分类的整体架构已经完备,而在实践上对于土族和土系的调查正在逐步推进,特别是国家科技基础性工作专项项目“我国土系调查与《中国土系志》编制”的实施,土壤的基层分类将会取得很大进步,而关中壤土区的土族和土系划分目前仅见闫湘等<sup>[31]</sup>报道的 9 个土壤剖面,9 个剖面划归 9 个土族和 9 个土系。同时这些基层分类的报道是在《中国土壤系统分类土族和土系划分标准》<sup>[32]</sup>发表之前,其土族和土系归并时在鉴别特征、命名等方面仍需进一步完善。

《中国土壤系统分类土族和土系划分标准》<sup>[32]</sup>一文中提出的矿质土壤土族鉴别应包括 4 个特征:颗粒大小级别与替代;矿物学类型;石灰性和酸碱反应类别;土壤温度等级。壤土分布区地表相对平整,土层深厚,一般都在 200 cm 以上,均达到划分土系控制层段(0 ~ 150 cm)的标准;在土壤颗粒大

小级别与替代上,壤土土壤母质一般为黄土,发育不是很强,土壤质地一般为壤土,土族颗粒大小级别可以区分出壤土和黏壤土两类;因颗粒大小级别为“壤土或黏壤土”,“25 ~ 100 cm”土体的 0.02 ~ 2 mm 部分原生矿物以石英(50%左右)和长石(20%左右)为主<sup>[33]</sup>,介于 40% ~ 90%,依据颗粒大小级别检索的矿物学类型可以检索到硅质混合型或混合型;壤土呈现弱碱性反应,pH 通常在 7.5 ~ 8.5,在发育较强的剖面上黏化层段无石灰反应,发育稍弱的通体有石灰反应,因此石灰性和酸碱反应类别可以检索出石灰性或非酸性;壤土分布区属暖温带大陆性季风气候,年平均气温 12 ~ 14℃,平均土温在 15.6 ~ 16℃<sup>[34]</sup>,对应的土壤温度等级应为温性。

## 4 展望

壤土是我国为数不多的受人类农业生产活动影响深刻的重要土壤类型,对其形成特征、成土过程、发生特性及发生分类和系统分类研究尽管已取得了一定的成果。尽管目前人为因素对成土过程的影响已经引起高度重视,土壤系统分类的推进也是土壤学科发展的趋势<sup>[35]</sup>,但是针对壤土仍然需要在以下几方面进一步地开展研究。

1)深入理解人为影响下壤土的成土过程,定量化分析覆盖层的形成过程。关中平原在长期农业活动如堆积、灌溉、施肥和耕作等影响下壤土所发生的变化及其在分类中的位置等研究工作必将在现有的基础上继续深入和发展<sup>[36]</sup>。深厚的覆盖层是壤土之所以区别于其母土的根本,对于覆盖层的形成目前一致的结论是人为土垫是主要成因,但这些有关成因的描述基本上不外乎两点,一是从剖面上观察发现有砖头、瓦片、炭渣等人为活动的痕迹,另一方面则是从相关农业或地理书籍中有关农业生产的记载来推断,缺乏对于覆盖层形成原因的定量分析。现代碳同位素测年技术可以测定堆垫层中的侵入体如炭渣、瓦块等的相对年龄,据此可以推断壤土覆盖层的形成时代及年平均堆垫厚度;土壤薄片微形态、光谱特征和现代仪器分析有助于增加土壤发生机理的新认识。

2)开展壤土覆盖层厚度调查,界定堆垫表层的厚度标准。覆盖层厚度是壤土系统分类归属的重要依据,《中国土壤系统分类(第三版)》中堆垫表层的厚度标准是 50 cm,而厚度在 20 ~ 50 cm 被认为是堆垫现象。在壤土系统分类检索实践中发现按照目前的标准,壤土剖面的覆盖层厚度能够达到堆垫表层的数量明显较少,很多被认为非常典型的壤土剖面由于厚

度达不到 50 cm 而难以被检索为土垫旱耕人为土,以至于很多学者对于壤土有没有必要被检索为人为土,甚至有没有必要专门针对壤土设定土垫旱耕人为土提出异议<sup>[37]</sup>。在《世界土壤资源参比基础(WRB)》<sup>[38]</sup>及《美国土壤系统分类(ST)》中也均设有人为表层,前者对人为表层的定义为受人为活动(湿耕作)改变而形成扰动层和犁底层的土壤表层,并规定厚度 15 cm,后者对人为表层的定义为在人为扰动或人为转运物质影响下形成的表层,规定厚度 25 cm,由此可见二者对人为表层的含义与《中国土壤系统分类(第三版)》一致,但厚度均低于我国的规定。吴克宁等<sup>[39]</sup>也对含人工制品的土壤的分类问题开展了研究。因此开展壤土覆盖层厚度调查,重新界定堆垫层厚度标准显得尤为重要,从而为《中国土壤系统分类(第三版)》的修订提供依据。

3)进行土壤普查,建立壤土代表土系。目前基于发生分类的壤土空间分布、发生特性已经开展过较多的调查和研究,而基于系统分类的壤土高级单元及基层单元空间分布状况则报道甚少,且目前对其系统分类的归属仍有一定的争议,因此非常有必要深入开展壤土分布区的土壤普查,在高级单元上掌握空间分布规律,基层单元上建立代表土系。

(谨以此文纪念壤土的提出者朱显谟院士)

#### 参考文献：

- [1] 朱显谟. 壤土[M]. 北京: 农业出版社, 1964: 1-169
- [2] 常庆瑞, 闫湘, 雷梅, 等. 关于壤土分类地位的讨论. 西北农林科技大学学报(自然科学版)[J]. 2001, 29(3): 48-52
- [3] 安战士. 陕西关中的土壤概况[J]. 西北农学院学报, 1959(3): 27-40
- [4] 耿成杰, 李远清, 刘廷立. 关中渭河流域两岸的土壤及其改良利用[J]. 土壤通报, 1959(4): 20-27
- [5] 庞奖励, 黄春长. 黄土-古土壤序列的典型微结构与 1 万年来的环境演化——以关中地区的全新世黄土剖面为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2002, 32(3): 268-273
- [6] 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
- [7] 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
- [8] 潘继花, 张甘霖. 典型土垫旱耕人为土主要常量元素的迁移富集特征、成因及其意义[J]. 土壤通报, 2013, 44(1): 14-20
- [9] 杜鹃. 关中平原土壤耕作层形成过程研究[D]. 陕西西安: 陕西师范大学, 2014
- [10] 庞奖励, 张卫青, 黄春长, 等. 关中地区不同耕作历史土壤的微形态特征及对比研究[J]. 土壤通报, 2009, 40(3): 476-481
- [11] 刘鹏生. 关中壤土的土体构造及其肥力[J]. 西北农学院学报, 1980(1): 17-29
- [12] 陕西省土壤普查办公室. 陕西土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 1-630
- [13] 施卫省. 壤土的发生特性和区域分异规律的研究[D]. 陕西杨陵: 西北农林科技大学, 1994
- [14] 周昌芸. 陕西渭河流域土壤调查报告[J]. 土壤专报, 1935(9): 24-28
- [15] 梭颇. 中国之土壤[J]. 土壤季刊, 1936(1): 1-21
- [16] 王文魁. 径渭流域土壤及其利用[J]. 土壤季刊, 1945(3): 34-39
- [17] 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: 1-290
- [18] 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: 1-226
- [19] 全国土壤普查办公室. 中国土壤普查技术[M]. 北京: 农业出版社, 1992: 1-243
- [20] 熊毅. 中国土壤(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 1-746
- [21] 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
- [22] Soil Survey Staff. Keys to soil taxonomy. 12th ed. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Washington, D.C.: United States Government Printing Office, 2014: 1-372
- [23] 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
- [24] 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). 土壤学进展(土壤系统分类研讨会特刊)[J]. 1987: 69-104
- [25] 中国科学院南京土壤研究所分类课题组和研究协作组. 中国土壤系统分类(首次方案)[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 1-112
- [26] 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(第三版)[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001: 1-275
- [27] 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
- [28] 史成华, 龚子同. 壤土的诊断层和诊断特性//《中国土壤系统分类研究丛书》编委会编. 中国土壤系统分类新论[C]. 北京: 科学出版社, 1994: 158-162
- [29] 田积莹, 雍绍萍, 贾恒义. 壤土土体构型及其诊断特性的探讨//《中国土壤系统分类研究丛书》编委会编. 中国土壤系统分类新论[C]. 北京: 科学出版社, 1994: 153-157
- [30] 闫湘. 关中地区土壤发生特性与系统分类研究[D]. 陕西杨陵: 西北农林科技大学, 1999
- [31] 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
- [32] 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
- [33] 潘德扬. 黄土[M]. 北京: 地质出版社, 1958: 1-102
- [34] 刘姣姣, 齐雁冰, 陈洋, 等. 陕西省土壤温度和水份状况估算[J]. 土壤通报, 2017, 48(2): 335-342

- [35] 潘继花, 张甘霖. 土垫旱耕人为土中磷的分布特征及其土壤发生学意义[J]. 第四纪研究, 2008, 28(1): 43–49
- [36] 龚子同, 张甘霖. 人为土研究的新趋势[J]. 土壤, 1998, 30(1): 54–56
- [37] 张甘霖, 史学正, 龚子同. 中国土壤地理学发展的回顾与展望[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 792–801
- [38] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). World reference base for soil resources 2014[M]. Rome, 2015: 1–203
- [39] 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

## Review on Genetic Characteristics and Classification of Lou Soil in Guanzhong Area

QI Yanbing, CHANG Qingrui, HUANG Yang, LIU Mengyun

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

**Abstract:** Lou soil, which is profoundly influenced by the agricultural activities, is an important agricultural soil in the Guanzhong area of Shaanxi Province, but disputes still exist nowadays on its genetic process and classification in recent years. In this paper, we reviewed the soil formation process and genetic characteristics, summarized the alteration of Lou soil in the genetic classification system in the past years, identified the diagnostic horizons, diagnostic characteristics and diagnostic evidences in Chinese Soil Taxonomy, predicted the spatial distribution of the senior taxon (soil order, suborder, group and subgroup) in the area and established the diagnostic indicators for the basic taxon (soil family and series) in Chinese Soil Taxonomy for Lou soil. Finally, three future research focuses were proposed for the Lou soil: 1) Further understand the influences of human agricultural activities on Lou soil formation process to quantitatively understanding the formation process of cumulic epipedon; 2) Study the thickness of the cumulic epipedon to determine the scientific depth criteria of the cumulic epipedon in Chinese Soil Taxonomy; 3) Conduct soil survey to establish the representative soil series of Lou soil.

**Key words:** Lou soil; Soil genetic characteristics; Chinese Soil Taxonomy; Anthrosols; Cumulic epipedon