

黄土高原坝淤土发生特性与系统分类研究

张英男, 姜泽云, 龙晓敏, 齐雁冰*, 刘梦云, 常庆瑞

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:【目的】黄土高原区沟坝地经过人工筑坝后自然淤积或者拦蓄洪水淤积而形成坝淤土, 为了解坝淤土的发生特性及系统分类归属开展研究。【方法】为本文选取 5 个典型坝淤土剖面, 分析坝淤土的成土环境、剖面形态特征理化性质, 检索坝淤土在中国土壤系统分类高级及基层分类的归属。【结果】坝淤土剖面土体深厚, 成土母质为人为淤积物质, 色调以浊黄橙为主, 土壤质地为粉质壤土、壤土和砂质壤土, 有机碳含量在 $1.33 \sim 8.29 \text{ g kg}^{-1}$, pH 为 $8.40 \sim 9.80$, CaCO_3 含量为 $19.4 \sim 173.5 \text{ g kg}^{-1}$ 。供试剖面包含淡薄表层、雏形层 2 个诊断层和盐积现象 1 个诊断现象, 以及人为淤积物质、温性土壤温度状况、半干润土壤水分状况、湿润土壤水分状况、氧化还原特征和石灰性等 6 个诊断特性; 供试 5 个坝淤土剖面分别被检索为普通筒育干润雏形土 (61-134), 弱盐淤积人为新成土 (61-129)、斑纹淤积人为新成土 (61-012)、石灰淤积人为新成土 (61-125、61-133) 4 个亚类, 建立了 5 个土系。所建立的 5 个土系在发生分类系统下的参比土种均为坝淤绵土, 表明系统分类对于坝淤土的分类更具有区分度。【结论】尽管坝淤土成土时间较短, 但人为耕作、灌溉等农业生产措施可以促进土壤发育, 加速由新成土发育为雏形土。坝淤土发生特性差异明显, 土族和土系类型多样, 应因地制宜的充分利用和合理保护不同土系, 以促进黄河流域生态环境和农业生产高质量发展。

关键词: 坝淤土; 人为新成土; 人为淤积物质; 代表土系; 黄土高原

中图分类号: S155.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0564-3945(2022)01-0012-08

DOI: [10.19336/j.cnki.trtb.2021060202](https://doi.org/10.19336/j.cnki.trtb.2021060202)

张英男, 姜泽云, 龙晓敏, 齐雁冰, 刘梦云, 常庆瑞. 黄土高原坝淤土发生特性与系统分类研究 [J]. 土壤通报, 2022, 53(1): 12-19

ZHANG Ying-nan, LOU Ze-yun, LONG Xiao-min, QI Yan-bing, LIU Meng-yun, CHANG Qing-rui. Genesis Characteristics and Attributes of Dam Silty Soils in the Loess Plateau According to Chinese Soil Taxonomy System[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2022, 53(1): 12-19

【研究意义】黄土高原上沟道纵横交错, 夏季暴雨集中, 而沟道地势低洼, 将水和泥沙不断的带入黄河中, 区域内水土流失情况严重, 生态系统发生紊乱^[1]。在这种独特的自然条件限制下, 当地居民择沟居住, 只能选择临坡面和沟道进行农业生产活动。20 世纪中期, 黄土高原地区当地人民群众推进建设淤地坝和小流域生态治理措施, 对区域内水土流失严重和生态环境的问题进行治理和改善^[2]。而淤地坝的建设和推广, 使得黄土高原的水土流失得到有效的治理, 同时在农业生产上和泥沙治理也发挥了重要的作用。在长期和水土流失问题作斗争中, 黄土高原地区的人民发现的一种十分有效的水土保持工程措施^[3]。治理过程中, 河流中携带的泥沙会发生淤积形成坝地, 而且淤积所形成的全部是表层侵蚀的土壤, 即坝淤土。这种土壤肥力高, 处于沟道

中易聚水, 水肥条件好, 产量较高, 便于耕作。因此在黄河流域高质量发展的大背景下, 依据土壤发生特性、成土过程、剖面特征、土壤理化性质开展精准的土壤分类既是坝淤土因地制宜利用的基础, 也是充分发挥坝淤土水土保持功能的保证。

【前人研究进展】分布在黄土高原上的坝淤土是人工筑坝后自然淤积或土壤拦蓄洪水所携带泥土淤积而成的土壤。淤地坝的建造已有几百年的历史, 最初的淤地坝是天然形成的, 当地人称为“淤滩”。人工筑坝最早追溯到明代万历年间 (1573—1619 年), 天然的淤地坝因自然滑坡、坍塌, 形成天然聚淤, 人们受到启发, 化害为利, 在沟道中修筑坝堰拦蓄水土, 淤积沉淀形成平坦的耕地, 后经加工形成了高 60 m 的淤地坝 (淤地 53.33 hm^2)^[4-5]。乾隆年间 (1743 年), 地方官员开始重视淤地坝,

收稿日期: 2021-06-01; 修订日期: 2021-09-08

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41877007) 资助

作者简介: 张英男 (1997-), 男, 河北张家口, 在读硕士, 主要从事土壤资源环境研究。E-mail: zhangyn0120@163.com

*通讯作者: E-mail: ybqi@nwsuaf.edu.cn

陕西道监察御史胡定察觉到沟道之中筑坝淤田,能够保持水土,减轻黄泥沙大的问题,上书请求地方建造坝堰,淤地造田^[6]。清代的光绪年间,黄土高原上人土矛盾突显,人民在涧滩打坝拦洪淤地,将草荒地变为肥沃的耕地^[7]。民国时期,李仪祉、成甫隆等诸位专家对筑坝淤田开始深刻的研究,筑坝淤田的提出和普遍展开,其高产稳产、旱涝保收的优越性是坡地农耕田不可比拟的^[8-9]。新中国成立以后,黄河治理的问题受到国家和党的高度重视,淤地坝的建设也取得了高速发展,将黄河流域更多的粗泥沙实现了拦截,导致淤积的土壤肥力提高,水土条件良好,深受当地群众的喜爱,满足河流域生态保护和高质量发展的新要求^[10]。在历经百年淤地坝的发展以及人为耕作的影响下,坝地土层中出现明显的人为淤积物质,耕作层随着淤积上升,逐渐形成了坝淤土。

作为黄土高原区的重要农业土壤类型,坝淤土的分类也受到高度重视。在1957年开展的陕西省第一次土壤普查中,坝地上淤积的土壤肥力高,剖面淤积层明显,但物理性质不良,土壤年年耕作,长期处于熟化状态,则将其划分为陕北淤土类;并根据分布地形部位、母质来源、质地粗细等因素将陕北淤土划分为淤泥土型和淤泥土种;在淤泥土种中,以淤积年限,肥力情况和农业生产情况表现为依据,将坝上的土壤命名为坝土^①。而在第二次土壤普查中,我国建立了较为完善的土壤发生分类体系,将土壤进行了更加细致的分类,添加了新积土这一土类。新积土按照成因划分为冲积土和新积土2个亚类;在新积土亚类中,按照沉积物质来源划分为洪积土、坝淤土等4个土属,将沟坝上的土壤正式命名为“坝淤土”;在土属中,将坝淤土划分为坝淤绵沙土、坝淤绵土、坝淤泥土等7个土种^[11]。为便于国际交流,我国于20世纪80年代中期开始土壤系统分类研究,学者们开始关注以诊断层和诊断特性为依据的定量化和标准化的土壤分类。尽管在中国土壤系统分类《初拟》^[12]、《二稿》^[13]及《首次方案》^[14]中均设置了人为初育土亚纲,但坝淤土不符合堆垫表层、灌淤表层等诊断层而难以被检索为该亚纲。随后,在1995年的《修订方案》^[15]中坝淤土因具有人为淤积物质这一诊断特性大致参比的类型为弱盐、斑纹、

石灰、酸性及普通淤积人为新成土5个亚类,《中国土壤系统分类(第三版)》^[16]则保留了这一分类层次。【本研究切入点】但这些系统分类的大致参比均是基于第二次土壤普查时记载的坝淤土的属性推测的,甚至在相关的土壤系统分类参比文献中均未出现坝淤土的系统分类参比,也未出现基于剖面调查与样品采集的坝淤土系统分类归属的相关文献。

坝淤土在陕西北部分布范围广、面积少,大约有 $4.15 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占全省土壤面积的0.21%。但由于其土壤肥力高,水文条件好,相对于坡地耕地,亩产高,是黄土高原区高产土壤,也是省内重要的农业生产用地。同时,淤地坝是重要的水土治理工程中关键措施,在黄河流域的生态环境管理中扮演着重要的角色。开展坝淤土发生特性及系统分类归属研究对于科学利用坝淤土及精准实施水土流失政策具有重要意义。【拟解决问题】基于此,本文以5个典型坝淤土剖面为研究对象,通过土壤野外调查、样品采集与分析,确定了坝淤土的诊断层和诊断特性,并确定其在中国土壤系统分类中高级及基层分类单元归属,为坝淤土资源的开发与合理利用提供了依据,也为进一步完善中国土壤系统分类提供了参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

坝淤土主要分布于黄土丘陵及沟壑区的沟坝地上,在陕西省则主要分布于陕北地区,位于 $36^{\circ}52'54'' \sim 39^{\circ}31'11.5'' \text{ N}$, $108^{\circ}5'61'' \sim 110^{\circ}59'1.8'' \text{ E}$,地处黄河中游,黄土高原的中南地区,东邻黄河,南接关中平原。地貌主要通过毛乌素沙漠南缘风沙草滩区、黄土丘陵沟壑区,沟壑纵横,丘陵脊梁交错。属于中温带半干旱季风性气候,气温 $8 \sim 11 \text{ }^{\circ}\text{C}$,年日照时数 $2100 \sim 2400 \text{ h}$,降水量 $350 \sim 630 \text{ mm}$,多集中于7、9月。海拔 $800 \sim 1200 \text{ m}$,地面坡度较缓,一般小于 3° 。成土母质是人为淤积物质,淤积层次明显。大部分的坝淤土通常用作农用地,是陕西地区重要的粮食作物种植区。

1.2 样品采集与分析

以陕西省土壤类型图为基础,参考黄土丘陵以及沟壑区坝淤土分布区的地貌、土地利用等状况,挖掘深 120 cm 、宽 120 cm ,长 250 cm 共5个典型

① 陕西省土普查鉴定委员会办公室. 陕西土壤(初稿). 1959.

的坝淤土标准剖面(表 1)^[17],通过手搓、眼观、盐酸滴定等手段对剖面不同深度土层的质地、颜色、结构特征加以区别,进而划分出不同的发生层次,同时观察并拍摄剖面周围景观照片,记录剖面形态、成土母质、土地利用^[18]等信息(图 1)。在每个剖面划分出的发生层次中部采集土壤样品 1 kg 左右,装入土样袋内做好标签。样品运回实验室后在室内自然风干、去杂、研磨过不同孔径筛后用于土壤理化

性质的分析。选取粒径大小合适的土壤样品利用实验室的测定方法对土壤的理化性质进行分析^[19],pH 采用 pH 计测定(土:水=为 1:2.5);土壤有机碳、可溶性盐、CaCO₃ 含量分别采用重铬酸钾—氧化外加热法、重量法和气量法进行测定;土壤的容重、颗粒组成可分别采用环刀法和激光粒度仪进行测定;土壤分类中的土壤颜色测定依据 Munsell 色空间绘制的土壤色卡,进行比色测定^[20]。

表 1 供试土壤的成土环境
Table 1 Soil-forming environment of the selected soil profiles

剖面 Profile	剖面地点 Location	经纬度 Longitude & Latitude	海拔(m) Elevation	地貌地形 Terrain	成土母质 Parent material	土地利用 Land use
61-134	延川县刘家塬	36°52'54" N, 110°5'56" E	826	黄土丘陵沟道坝淤地	黄土母质	旱地
61-129	子洲县三川口镇文家窑村	37°41'33"N, 109°56'55" E	925	黄土丘陵沟道坝淤地	人工淤积物质	荒草地
61-012	府谷县古城乡王家门村	39°31'11.5"N, 110°59'1.8" E	960	黄土丘陵沟道坝淤地	人为淤积物质	农耕地, 弃耕地
61-125	佳县金明寺镇王石畔村	38°3'38" N, 110°16'25" E	1016	黄土丘陵沟道坝淤地	人工淤积物质	旱地
61-133	清涧县宽州镇李家沟村	37°28'41"N, 108°5'61" E	923	黄土丘陵沟道坝淤地	人工淤积物质	旱地

1.3 土壤系统分类归属及代表土系建立

土壤分类系统主要包括 2 个方面,分别为高级分类单元和基层分类单元。高级分类单元包括土纲、亚纲、土类和亚类。高级分类是根据土壤诊断层、诊断特性、诊断现象进行划分的,通过野外调查信息、剖面性质等信息采集,以《中国土壤系统分类检索(第三版)》^[16]的标准为依据对土壤进行系统的分类划分。基层土壤分类单元包括土族和土系,依据“中国土壤系统分类土族和土系划分标准”^[21]进行划分。

2 结果与分析

2.1 坝淤土剖面性状与理化性状

2.1.1 地表及土壤剖面形态状况 图 1 可以看出,坝淤土一般处于较宽的沟谷口,经人为淤积,土层深厚,地表平整。表 2 显示,土壤典型剖面中主要色调为 10YR、2.5Y,剖面的整体色调相差不大,主要以浊黄橙为主,明度为 5~6,亮度在 3~4 之间,变化范围较小。坝淤土体均在 120 cm 以上,较为深厚。人为淤积物质较明显,原黄土母质中富含碳酸

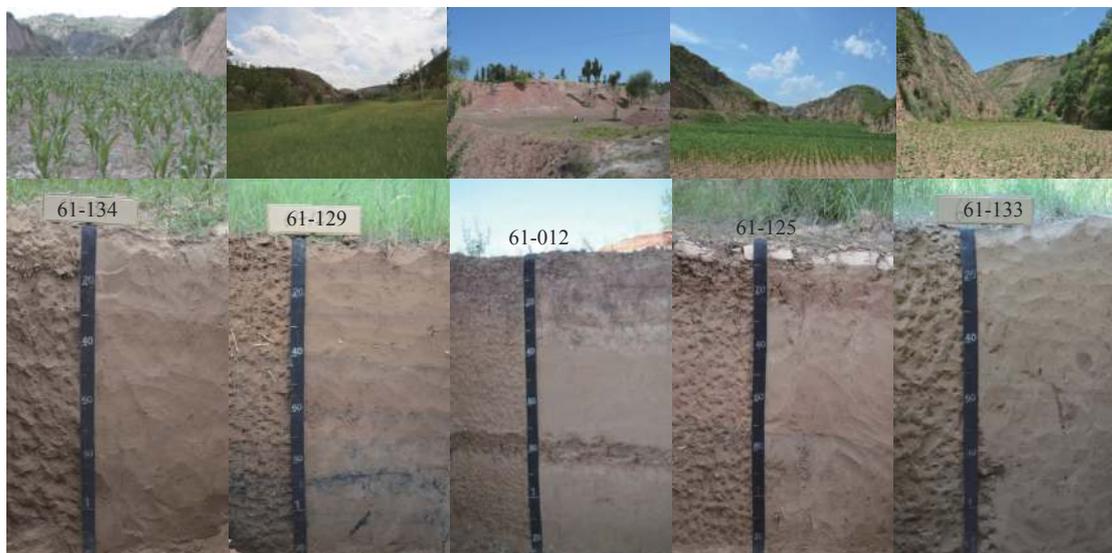


图 1 坝淤土的典型地理景观(上部)和土壤剖面(下部)

Fig.1 Typical geographic landscape (upper part) and soil profiles (lower part) of dam silty soil

钙, 剖面土体具有强石灰性反应。坝淤土的土壤表层主要为团块状结构, 表层以下无明显结构, 有明显的淤积层理 (图 1)。剖面 61-134 是在黄土高原沟道内, 人工筑坝后自然淤积而成的土壤, 受耕种时间长短不一的影响, 土壤肥力水平差异较大, 中下部为原黄土母质, 表层以下有明显的块状结构。剖面 61-129、61-012 地处于沟坝地, 受到土壤水分含量高和耕作翻耕等因素的影响, 能够明显的观察到有锈纹锈斑。

2.1.2 坝淤土剖面的物理化学性状 由表 2 可以看出, 坝淤土土壤质地主要为粉质壤土、壤土和砂质壤土为主。其中除剖面 61-012 以外, 其余各剖面土壤颗粒组成中粉粒是含量最大的粒级 (291.7 ~ 794.7 g kg⁻¹), 而剖面 61-012 位于人工的沟道筑坝, 是由拦蓄洪水所携带泥土淤积而成, 表层土壤砂粒含量比例较高; 土壤容重介于 1.12 ~ 1.60 g cm⁻³ 之间, 平均值为 1.36 g cm⁻³, 所选剖面土壤总体结构较好。坝淤土为碱性土壤, pH 主要位于 8.40 ~ 9.80 之间; 土壤有机碳含量在 1.33 ~ 8.92 g kg⁻¹, 平均值为 3.89 g kg⁻¹,

剖面 61-129、61-012 地势平缓, 水文条件好, 长期弃耕或荒草地, 因此表层土壤有机碳含量高; CaCO₃ 含量介于 19.4 ~ 173.5 g kg⁻¹ 之间, 含量跨度较大, 在各剖面中总体上呈现由上到下先增加再降低的趋势。各剖面层次的易溶性盐总量介于 0.11 ~ 3.12 g kg⁻¹ 之间, 含量跨度较大, 但大部分剖面易溶性盐总量较少, 只有剖面 61-129 表层易溶性盐含量超过 2 g kg⁻¹。

2.2 诊断层及诊断特性

2.2.1 诊断层与诊断现象 根据检索标准, 选择的 5 个坝淤土典型剖面中共有 2 个诊断层 (淡薄表层、锥形层) 和 1 个诊断现象 (盐积现象)。(1) 淡薄表层: 选取供试剖面的人工淤积物质厚度在 30 ~ 50 cm, 且其他诊断表层的检索标准也不满足, 因此判断为淡薄表层。(2) 锥形层: 剖面 61-134 土壤发育程度微弱, 成土过程无物质淀积, 未发生黏化, 土壤质地细, 成土母质为黄土母质, 富含碳酸钙, 且有下移趋势, 检索为锥形层。(3) 盐积现象: 剖面 61-129 中有一层厚度大于 15 cm, 且含盐量超过 2 g kg⁻¹, 因此根据检索标准为盐积现象。

表 2 供试土壤剖面形态特征及主要理化性质
Table 2 Profile characteristics and physical and chemical properties of the tested soils

剖面 Profile	发生层 Horizon	深度 Depth (cm)	颜色 (干态) Color (Dry)	土壤新生体 Neogenic soil body	侵入体 Soil intrusion	砂粒 Sand (g kg ⁻¹)	粉粒 Silt (g kg ⁻¹)	黏粒 Clay (g kg ⁻¹)	容重 Bulk density (g cm ⁻³)	pH (H ₂ O)	有机碳含量 Soil organic carbon (g kg ⁻¹)	CaCO ₃ 含量 Total soluble salt (g kg ⁻¹)
61-134	Ap1	0 ~ 18 cm	10YR 6/4	-	大量草本植物根系	256.7	573.5	169.8	1.21	8.70	4.23	80.3
	Ap2	18 ~ 28 cm	10YR 6/4	-	中量草本植物根系	163.7	639.0	197.3	1.52	9.10	4.87	80.4
	Bw	28 ~ 60 cm	10YR 6/4	-	少量草本植物根系	132.0	653.3	214.8	1.55	9.10	3.48	80.1
	BC	60 ~ 120 cm	10YR 6/4	-	少量草本植物根系	132.2	654.4	213.4	1.37	9.20	2.90	85.6
61-129	Ahz	0 ~ 25 cm	10YR 6/3	-	大量草本植物根系	205.9	604.6	189.4	1.52	8.60	6.96	86.9
	Cr1	25 ~ 40 cm	10YR 6/3	-	大量草本植物根系	505.6	378.1	116.3	1.40	9.80	1.57	59.5
	Cr2	40 ~ 85 cm	10YR 6/4	锈纹锈斑	中量草本植物根系	267.6	571.1	161.4	1.43	9.40	3.07	79.1
	Cg	85 ~ 120 cm	10YR 6/3	铁锰还原物质	-	255.7	586.2	158.1	1.53	9.20	2.32	84.6
61-012	Ap1	0 ~ 15 cm	7.5YR 5/3	-	大量草本植物根系	637.9	291.7	70.4	1.12	8.40	7.19	70.9
	Ap2	15 ~ 26 cm	7.5YR 5/3	-	大量草本植物根系	165.7	720.8	113.5	1.32	8.40	8.29	42.6
	AC	26 ~ 36 cm	10YR 5/4	-	少量草本植物根系	207.6	690.8	101.6	1.41	8.50	4.06	19.4
	Crk	36 ~ 73 cm	10YR 5/4	少量锈纹锈斑	-	249.5	660.8	89.7	1.60	8.90	1.33	102.6
	Cr1	73 ~ 85 cm	10YR 5/4	少量锈纹锈斑	-	86.1	794.7	119.3	1.38	8.40	6.21	10.0
	Cr2	85 ~ 120 cm	10YR 5/4	少量锈纹锈斑	-	246.3	643.2	110.5	1.39	8.70	1.74	28.1
61-125	Ap	0 ~ 20 cm	5YR 4/3	-	大量草本植物根系	35.9	756.7	207.3	1.38	8.20	5.63	173.5
	C1	20 ~ 45 cm	10YR 6/4	-	少量草本植物根系	184.5	654.9	169.6	1.38	8.70	3.94	126.2
	C2	45 ~ 72 cm	5YR 5/4	-	少量草本植物根系	339.0	534.6	126.4	1.41	9.20	1.97	81.2
	C3	72 ~ 120 cm	2.5Y 5/2	-	少量草本植物根系	333.0	535.1	131.9	1.38	9.20	2.26	78.8
61-133	Ap	0 ~ 22 cm	10YR 6/3	-	大量草本植物根系	257.2	559.0	183.7	1.35	8.90	6.26	87.9
	C1	22 ~ 58 cm	10YR 6/4	-	少量草本植物根系	323.8	511.5	164.7	1.56	9.10	2.67	87.7
	C2	58 ~ 80 cm	10YR 6/4	-	-	243.4	575.7	180.9	1.54	9.20	2.61	92.8
	C3	80 ~ 120 cm	10YR 6/4	-	少量砾石	60.1	708.1	231.8	1.47	9.20	2.03	80.8

注: 砂粒粒径 2 ~ 0.05 mm; 粉粒粒径 0.05 ~ 0.002 mm; 黏粒粒径 < 0.002 mm。

2.2.2 诊断特性 根据检索标准可知,所选坝淤土供试剖面共涉及到 6 个诊断特性。(1)人为淤积物质:所选取的供试剖面皆在人工筑坝后由自然淤积或拦蓄洪水所携带泥土淤积而成的土壤,剖面有明显的淤积层理,且部分剖面受到翻耕或深耕的影响,淤积物质层理消失,在耕作层以下的某些亚层中存在淤积层理,符合人为淤积物质特性。(2)温性土壤温度状况:以年平均气温以及所处经纬度为依据,根据刘姣姣等^[22]的分析,供试剖面的 50 cm 深度土壤温度范围为 11.0 °C ~ 13.1 °C,属温性土壤温度状况。(3)土壤水分状况:地下水位对剖面 61-134、61-012、61-125、61-133 均无影响,且水温条件良好或受农业灌溉影响,降水量在 350 ~ 550 mm,干燥度介于 1.0 ~ 2.0,因此全剖面均判定为半湿润土壤水分状况;61-129 剖面位于原河床上,径流水和土壤毛管持水能力强,导致土壤水分含量高,且黄土渗透性好,水分可以下渗通过整个土壤,大多数年份土壤水分的控制层次每年累计干燥时间 < 90 d,

则为湿润土壤水分状况。(4)氧化还原特征:61-129、61-012 剖面结构中有明显的锈斑纹出现,且残留不同程度的还原性物质,符合发生氧化还原交替作用的现象,因此符合氧化还原特征。(5)石灰性:选取的供试剖面土壤 0 ~ 50 cm 范围内 CaCO₃ 含量均 ≥ 10 g kg⁻¹,且用盐酸(1:3)处理有泡沫反应,各层次均呈现出强石灰性反应,可判断为具有石灰性。

2.3 土壤系统分类体系中的归属

2.3.1 高级分类归属 将《中国土壤系统分类检索(第三版)》中的高级分类标准作为土壤高级分类单元的划分依据,对五个供试剖面分别进行分类检索。共划分 2 个土纲,分别为雏形土和新成土;划分为 2 个亚纲,分别为干润雏形土和人为新成土;划分为 2 个土类,分别为筒育干润雏形土、淤积人为新成土;划分为 4 个亚类,分别为普通筒育干润雏形土、弱盐淤积人为新成土、斑纹淤积人为新成土和石灰淤积人为新成土(表 3)。

表 3 供试土壤在系统分类高级分类单元的归属
Table 3 High level classification of the tested soils

土纲 Order	亚纲 Suborder	土类 Group	亚类 Subgroup	剖面编号 Profile No.
雏形土	干润雏形土	筒育干润雏形土	普通筒育干润雏形土	61-134
新成土	人为新成土	淤积人为新成土	弱盐淤积人为新成土 斑纹淤积人为新成土 石灰淤积人为新成土	61-129 61-012 61-125、61-133

2.3.2 基层分类归属 土族的类型划分是将土壤的颗粒组成大小的级别、土壤矿物类型、酸碱度及土壤温度等指标来作为标准^[23]。所选择的 5 个坝淤土剖面中均不含有黏磐层和石质接触层,因此将土壤的控制层设置在 0 ~ 100 cm 的范围内。

(1)土壤的颗粒大小级别:对 5 个坝淤土剖面进行土壤颗粒大小级别的检索可知,剖面的岩石碎屑含量均 < 25% (体积计),则均没有粗骨质;在此条件下,剖面 61-134 细土部分 (< 2 mm) 黏粒含量介于 20% ~ 35% (重量计),因此被检索为黏壤质,而其余剖面黏粒含量远低于颗粒组成含量的 20% (重量计),因此被检索为壤质。(2)土壤矿物类型:坝淤土的成土母质为人工淤积物质,淤积物质大多数为黄土,因此所选供试剖面的矿物类型均为混合型。(3)土壤的石灰性及酸碱度:在所选的 5 个土壤供试剖面中,0 ~ 100 cm 范围内控制层段均表现为通体强石灰性反应,因此土壤剖面均呈现石灰

性。(4)土壤温度:供试剖面经过诊断特性检索标准分析,土壤温度均在 9 ~ 16 °C 范围内,因此为温性土壤。

表 3 可知,5 个坝淤土剖面按照标准可检索为 4 个土族类型,且分别在土壤亚类中进行基层分类单元土族的划分。分别为:黏壤质混合型石灰性温性—普通筒育干润雏形土(剖面 61-134)是在普通筒育干润雏形土亚类下建立的土族类型;壤质混合型石灰性温性—弱盐淤积人为新成土(剖面 61-129)是在弱盐淤积人为新成土亚类下建立的土族类型;壤质混合型石灰性温性—斑纹淤积人为新成土(剖面 61-012)是在斑纹淤积人为新成土亚类下建立的土族类型;壤质混合型温性—石灰淤积人为新成土(剖面 61-125、61-133)是在石灰淤积人为新成土亚类下建立的土族。

土系的划分标准和剖面的土层特征有关,主要包括种类、土层厚度、排列以及新生体含量等方面。

为体现剖面的整体性状和准确观察土层差异,研究只观察 0~120 cm 范围内的土系控制层段,且所选取的典型剖面均不存在黏磐层和石质接触层。其中,诊断层和一些特殊土层对土系的归纳有重要的意义^[24]。由表 4 可知,选取的 5 个坝淤土壤供试剖面共建立了 5 个土系。在壤质混合型温性—石灰淤积人为新成土这一土族中,剖面 61-125、61-133 所处地形较为平坦,土质结构相对较好,质地适中,地表坡度很小,成土母质均为人为淤积物质,61-125 剖面耕种时间长短不一,土壤肥力水平差异较大,剖面上下层次质地有明显的差异,表层淤积物质质地较细,且由图 1 可知,该剖面土层的土壤颜色 0~20 cm 和 45~72 cm 范围内偏红;20~45 cm 和 72~120 cm 范围内偏黄,而 61-133 剖面上下质地均一,剖面的土壤颜色均为浊黄橙,因此将剖面 61-125、61-133

划分为金明寺系、宽州系;在黏壤质混合型石灰性温性—普通筒育干润锥形土这一土族中,剖面 61-134 所处地形部位为黄土丘陵区,成土母质为黄土母质,土壤质地为砂质壤土,与金明寺系均是由于人为坝淤形成的,但淤积层次浅薄,符合锥形层检索标准。因此,将剖面 61-134 划分为刘家塬系;在壤质混合型石灰性温性—斑纹淤积人为新成土这一土族中,剖面 61-012 是由于人为坝淤形成的,土壤层次中有氧化还原特征,但水分条件较差,且剖面所处地形较为平坦,土质结构相对较好,为砂壤土—中下层壤土—黏壤土,因此划分为王家门系;在壤质混合型石灰性温性—弱盐淤积人为新成土这一土族中,剖面 61-129 是由于人为坝淤形成的,有氧化还原特征,水分条件较好,具有盐积特征,且质地为砂质壤土,因此划分为三川口系。

表 4 供试剖面土族土系划分
Table 4 The classification of family and soil series for the tested soils

土族 Soil family	土系及其剖面 Soil series and typical profile	土系建立依据 Classification standard of soil series	参比土种 Soil species
黏壤质混合型石灰性温性—普通筒育干润锥形土	刘家塬系 61-134	/	坝淤绵土
壤质混合型石灰性温性—弱盐淤积人为新成土	三川口系 61-129	/	坝淤绵土
壤质混合型石灰性温性—斑纹淤积人为新成土	王家门系 61-012	/	底泥坝淤绵沙土
壤质混合型温性—石灰淤积人为新成土	金明寺系 61-125 宽州系 61-133	淤积物质为洪积物,剖面上下层次质地不均,表层质地较细,中层土壤呈浅黄色,底层土壤为灰黄色。淤积物质为人为填沟成土,剖面上下土层质地均匀,粉砂质壤土。	坝淤绵土 坝淤绵土

3 讨论

土壤的分类包括系统分类和发生分类,系统分类是以发生学为思想基础,将诊断层和诊断特性作为定量化和科学化的依据对土壤进行划分。土壤发生分类依据土壤学的中心概念、成土条件和环境、成土过程土壤的发育进行划分。同一地区内,不同发育阶段的土壤具有相同的成土母质易划分为同一土类或者亚类,但土壤的性状由于缺少量化指标,无法区分差异,缺少准确性和科学性^[25]。根据土壤系统分类的检索标准,对所选取的 5 个坝淤土供试剖面进行了系统分类归属检索,结果表明在土纲的划分中剖面 61-134 因具有锥形层而被划分为锥形土纲与其他 4 个剖面区别开;其余 4 个剖面在土类级别上均为淤积人为新成土,尽管均具有石灰性,在亚

类级别上 61-129、61-012 因分别具有盐积现象和氧化还原特征而被区分出来,61-125、61-133 则因剖面层次及颜色的细微差别分别建立了不同的土系。由此表明基于诊断层和诊断特性,坝淤土在土壤系统分类体系下既能被检索到适宜的类型归属,又能体现坝淤土盐积、氧化还原等发生特性的差异。而所选取的 5 个土壤剖面中土壤发生分类的参比土种为坝淤绵土的 4 个剖面在系统分类体系下被检索为锥形土和新成土 2 个土纲,3 个亚类,分别建立了 4 个不同的土系,由此表明土壤系统分类中标准都是量化的指标,更精确地体现单个土体之间的差异,较发生分类对坝淤土的区分度更高^[26]。坝淤土在黄土丘陵沟壑区分布面积小且零散,大多数的沟坝地是在上个世纪六七十年代建造的,这些沟坝地地势较

平缓, 土质结构相对较好, 是黄土高原区高产的农业土壤。但坝淤土淤积物质来源丰富, 沟坝所处部位及气候、水文条件差异明显, 导致坝淤土的土壤理化性质差异巨大, 从本文选取的 5 个坝淤土剖面层次及形态上的差异 (图 1) 及丰富的剖面发生层 (表 1) 上可以看出。因此以坝淤土的发生分类为基础, 结合土壤的成土过程和区域影响因素, 为确定系统分类中剖面的诊断层和诊断特性提供方向, 能够有效减少因定量化指标出现的误差, 建立准确和科学的坝淤土分类系统。为提高坝淤土土壤质量及更好的发挥水土保持功能, 针对不同的坝淤土系统分类提出因地制宜的利用措施提供依据。

坝淤土是一种人工干预下形成的土壤, 成土时间短, 剖面基本保留淤积层理而难以形成自然发生土层, 土壤的性状较多延续成土母质的理化特性, 因此其诊断表层均为淡薄表层。剖面上下层次间的物质移动不明显, 碳酸钙含量较高, 质地为粉砂壤土, 淤地坝建立时间短和沉积的物质少, 也只有部分剖面符合雏形层的检索标准。在自然条件下, 土壤的形成发育是一个缓慢的过程, 但淤地坝等水土工程措施的建立, 发生明显的土壤扰动破坏土壤结构, 将土壤各层次混合, 在沟坝中形成的农田, 农民进行耕作整土, 使坝地土壤微地形发生改变, 土壤土体疏松多孔, 有利于土壤涵养水源, 有效的保持土壤含水量, 巩固并抬高侵蚀基准面, 以减轻沟道侵蚀。在种植农作物的过程中进行灌溉、施肥等农业活动, 也有利于有机质在土壤中累积, 加快土壤的熟化, 土壤黏粒增加, 形成犁底层保水保肥。因此, 在人为的干预下, 坝地淤积的土壤向适宜作物生长的方向发育^[27]。土壤形成发育的速度也大大提高, 表层土壤逐渐熟化。本文中剖面 61-134 仅经过几十年的时间就形成了明显的雏形层而被检索为雏形土, 由此表明尽管坝淤土成土时间较短, 但人为耕作、灌溉等农业生产措施可以促进土壤发育, 加速由新成土发育为雏形土。

4 结论

中国土壤系统分类体系很好的对不同的坝淤土的系统分类归属进行了区分, 选取的 5 个坝淤土在高级分类级别上被检索为 2 个土纲、2 个亚纲、2 个土类、4 个亚类 (普通筒育干润雏形土、弱盐淤积人为新成土、斑纹淤积人为新成土、石灰淤积人为新

成土), 基层分类上检索出 4 个土族和 5 个土系。长期耕作、灌溉、施肥等农业生产活动加速新成土向雏形土演替, 坝淤土复杂的成土环境则需对所建立的不同土系进行因地制宜的利用。

参考文献:

- [1] 金 钊. 黄土高原沟道治理: 几百年来与洪水和泥沙的斗争[J]. 地球环境学报, 2020, 11(5): 574 - 582.
- [2] 刘 哲. 黄土沟壑区沟道水土资源化面临的问题及其对策浅析[J]. 南方农业, 2020, 14(20): 165 - 167.
- [3] 刘雅丽, 王白春. 黄土高原地区淤地坝建设战略思考[J]. 中国水土保持, 2020, (9): 48 - 52.
- [4] 李西民. 淤地坝: 陕北黄土高原上的亮丽风景[J]. 中国水土保持科学, 2019, (10): 3 - 4.
- [5] 艾开开. 黄土高原淤地坝发展变迁研究[D]. 陕西: 西北农林科技大学, 2019.
- [6] 艾开开, 杨乙丹. 明至民国时期黄土高原淤地坝的发展变迁——以陕晋为中心[J]. 农业考古, 2018, (6): 134 - 141.
- [7] 赵秦丹. 陕北黄土丘陵区推广淤地坝问题[J]. 新黄河, 1955, (12): 79 - 81.
- [8] 李仪祉. 李仪祉水利论著选集[M]. 北京: 水利电力出版社, 1988.
- [9] 成甫隆. 黄河治本论初稿[M]. 北京: 北平平民日报社印, 1947.
- [10] 宋建军, 肖金成, 刘 通. 黄河大保护应做好黄土高原生态治理——基于陕北生态保护和淤地坝建设的调研[J]. 宏观经济管理, 2020, (7): 30 - 36.
- [11] 陕西省土壤普查办公室. 陕西土壤[M]. 北京: 科技出版社, 1992.
- [12] 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, (6): 290 - 318.
- [13] 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, (4): 69 - 104.
- [14] 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.
- [15] 中国土壤系统分类课题研究协作组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(修订方案)[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1995.
- [16] 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. 中国土壤系统分类检索(第3版)[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001.
- [17] 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.
- [18] Huang C C, Pang J L, Huang P, et al. High-resolution studies of the oldest cultivated soils in the southern Loess Plateau of China[J]. *Catena*, 2002, 47(1): 29 - 42.
- [19] 龚子同, 张甘霖. 土壤调查实验室分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [20] 陈剑科, 袁大刚, 晏昭敏, 等. 测色仪与中国标准土壤色卡测定土壤颜色比较——以川中丘陵区为例[J]. 土壤学报, 2019, 56(1): 78 - 89.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 周红艺, 何毓蓉, 张保华. 土壤系统分类中的基层分类研究进展[J]. *世界科技研究与发展*, 2003, (2): 58 – 62.
- [24] 王秋兵, 王晶媚, 韩春兰. 将土种资料转化为土系的必要性与可行性分析[J]. *土壤通报*, 2010, 41(1): 17 – 22.
- [25] 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.
- [26] 吴 娟, 齐雁冰, 常庆瑞, 等. 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.
- [27] Huang C C, Pang J L, Su H X, et al. The Ustic Isohumisol (Chernozem) distributed over the Chinese Loess Plateau: Modern soil or palaeosol?[J]. *Geoderma*, 2009, 150(3): 344 – 358.

Genesis Characteristics and Attributes of Dam Silty Soils in the Loess Plateau According to Chinese Soil Taxonomy System

ZHANG Ying-nan, LOU Ze-yun, LONG Xiao-min, QI Yan-bing*, LIU Meng-yun, CHANG Qing-rui
(College of Natural Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: [Objective] Dam silty soils were developed from the sediments of the artificial dam construction or flood storing in the gully of the Loess plateau, which was considered as not only an important soil erosion control measure but also an effective way to increase arable land. In order to understand the attribution of the dam silty soils in the Chinese Soil Taxonomy (CST) classification system, totally 5 soil profiles were selected in the loess plateau. [Method] In each selected soil profile, soil forming conditions, profile morphological characteristics, parent materials and land uses were recorded referring to Manual of Field Soil Description and Sampling in situ. The soil samples were collected and taken to the laboratory for soil physical and chemical measurement with referring to Soil Survey Laboratory Methods. On this basis, the diagnostic horizons and diagnostic characteristics of the soil profiles were determined, and the classification of dam silty soils was attributed in CST at the higher and basic category levels. [Result] All the selected dam silty soil profiles had a depth higher than 120 cm with the anthro-silting parent material, the color for most of the soil layers were dominated by the turbid-yellow orange, the soil texture were composed by silty loam, loam and sandy loam. The soil organic carbon content was ranged from 1.33 to 8.29 g kg⁻¹, pH ranged from 8.40 to 9.80, as well as the content of CaCO₃ ranged from 19.4 to 173.5 g kg⁻¹. The selected soil profiles included two diagnostic surface horizons (ochric epipedon and cambic horizon), one diagnostic evidence (salic evidence), and six diagnostic characteristics (anthro-silting materials, mesic soil temperature regimes, ustic soil moisture regimes, udic moisture regime, redoxic features and calcaric property). The 5 profiles were attributed into 2 soil orders (cambosols, primosols), 2 suborders (ustic cambosols, anthric primosols). One subgroup (Typic Hapli-Ustic Cambosols) was attributed for the group of Hapli-Ustic Cambosols, while four subgroups (Silti-Parasalic Anthric Primosols, Silti-Mottlic Anthric Primosols, Silti-Calcaric Anthric Primosols, Silti-Calcaric Anthric Primosols) were attributed for the group of Silti-Anthric Primosols. According to the classification standards of soil families and soil series in CST, they were attributed for 4 soil families (clay loamy mixed calcaric type mesic temperature-Typic Hapli-Ustic Cambosols, loamy mixed calcaric type mesic temperature-Silti Parasalic-Anthric Primosols, etc.) and 5 soil series (Liujiayuan series, Sanchuankou series, etc.). The established 5 soil series were referenced to the same soil species (Dam silty spongy soil) in the Chinese Soil Genetic Classification (CSGC), which indicated that the CST classification system had higher discrimination than the CSGC system for the dam silty soil. [Conclusion] Even the dam silty soil only had a short soil forming time, the intensive agricultural production activities such as ploughing, fertilization and irrigation could accelerate soil development and probably prompted soil attribution from primosols to cambosols. The diverse soil genesis of dam silty soil determined diverse properties of the established soil series, which indicated that specific soil use measures should be proposed to each soil series to promote the ecological environmental health and achieve high quality development of agricultural production in the Yellow River basin.

Key words: Dam silty soil; Anthric primosols; Anthro-silting materials; Representative soil series; Loess plateau

[责任编辑: 韩春兰]