

陕西黑垆土在中国土壤系统分类中的归属^①

陈敏辉, 郭欣, 王珂, 齐雁冰*, 常庆瑞, 刘梦云

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 在分析陕西省境内 9 个黑垆土剖面成土环境、剖面形态特征及理化性质的基础上, 按照中国土壤系统分类高级及基层分类检索标准, 确定了其在中国土壤系统分类中的归属。9 个黑垆土剖面的腐殖质层厚度介于 30~120 cm, 通体均具有强石灰反应, CaCO_3 含量介于 12.5~189.5 g/kg, 其中 6 个剖面具有 30~45 cm 的堆垫层。黑垆土共包括淡薄表层、暗沃表层、雏形层、黏化层、钙积层 5 个诊断层和堆垫现象、钙积现象、盐积现象 3 个诊断现象, 均腐殖质特性、温性土壤温度状况、半干润土壤水分状况以及石灰性 4 个诊断特性。9 个黑垆土剖面在高级分类上可检索为淋溶土和雏形土 2 种土纲, 向下继分为普通钙积干润淋溶土、钙积暗沃干润雏形土、钙积简育干润雏形土以及普通简育干润雏形土 4 个亚类; 其土族鉴别特征可分为黏质混合肥性、壤质硅质混合肥性、钙积温性、壤质混合肥性等 6 个土族以及胡家庙系、崾崄系、崔木系等 9 个土系。但目前的系统分类检索结果未能体现黑垆土具有深厚腐殖质层及堆垫现象的典型特性, 因此黑垆土的系统分类归属仍需开展深入研究, 同时建议新增堆垫干润雏形土土类或堆垫简育干润雏形土亚类, 以体现人为农业生产活动对黄土高原地区土壤的影响。

关键词: 黑垆土; 系统分类; 均腐殖质特性; 堆垫现象; 土族; 土系

中图分类号: S155.3 文献标志码: A

Attribution of Dark Loessial Soils in Chinese Soil Taxonomy in Shaanxi

CHEN Minhui, QIE Xin, WANG Ke, QI Yanbing, CHANG Qingrui, LIU Mengyun

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

Abstract: In this paper, 9 typical profiles of dark loessial soil were selected, field soil survey was conducted, morphological characteristics of soil profiles were observed, physicochemical properties of horizon samples were measured, diagnostic horizons and diagnostic characteristics were determined and soil taxonomy were decided for the studied soil profiles. The results showed that deep humus layers of 9 dark loessial soil profiles were identified with the thickness of 30–120 cm, and strong calcareous reactions were found with the CaCO_3 content ranged from 12.5 g/kg to 189.5 g/kg, simultaneously, 6 of the 9 profiles were characterised by artificial surface accumulation during agricultural activities with the cumulic layer ranged from 30 cm to 45 cm. For the selected dark loessial soil profiles, 2 diagnostic surface horizons (ochric epipedon, mollic epipedon), 3 diagnostic subsurface horizons (argic horizon, calcic horizon and cambic horizon) and 7 diagnostic characteristics (calcaric property, isohumic property, salic evidence, mesic soil temperature regimes, ustic soil moisture regimes, cumulic evidence and calcic evidence) were determined. One soil profile was sorted into Ustic Argosols and 8 profiles were sorted into Ustic Cambosols. Only one subgroup (Typic Calcic-Ustic Argosols) was attributed for the Ustic Argosols, while three subgroups (Calcic Mollic-Ustic Cambosols, Calcic Hapli-Ustic Cambosols and Typic Hapli-Ustic Cambosols) were attributed for the Ustic Cambosols. According to the criteria for establishment of soil families and soil series in CST, 7 soil families (clay loamy mixed type mesic temperature-Typic Calcic-Ustic Argosols, loamy mixed type mesic temperature-Calcic Hapli-Ustic Cambosols, etc.) and 9 soil series (Hujiamei series, Yaoxian series, etc.) were established of the selected soil profiles. However, the sorted results of the studied soil profiles based on CST did not reveal the essential characteristics of deep humus layer and cumulic evidence for the dark loessial soil, therefore further researches are needed to emphasize soil taxonomy of the dark loessial soil, so we suggested that the subgroup of Cumulic-Hapli-Ustic Cambosols or the subgroup of Cumulic-Ustic Cambosols be added in the CST in

①基金项目: 国家自然科学基金项目(41877007)资助。

* 通讯作者(ybqi@nwsuaf.edu.cn)

作者简介: 陈敏辉(1997—), 男, 陕西宝鸡人, 硕士研究生, 主要从事土壤资源与空间信息技术研究。E-mail: chenmh@nwafu.edu.cn

order to further reflect the effects of human agricultural activities on soil formation in the Loess Plateau.

Key words: Dark loessial soil; Soil taxonomy; Isohumic property; Cumulic evidence; Soil family; Soil Series

黑垆土形成于森林草原向草原植被过渡的暖温带半干旱气候区, 是我国褐土带向栗钙土带过渡的重要一环, 其多分布于地形平坦、侵蚀轻微的黄土塬面上, 因此是黄土高原区古老的耕种土壤^[1]。黑垆土的形成过程大体可分为黑垆土层的形成和其上覆盖层的形成两个阶段, 前者是在相对温暖潮湿的环境下, 草原植被受到长期强烈的风化淋溶作用的影响, 从而形成了深厚的黑垆土层; 而后者则是在黑垆土层形成后, 人类在其上长期从事农耕活动, 施用大量土粪肥料, 同时伴随着气候环境发生由暖湿转为干冷的巨大变化以及长期黄土沉降的作用, 在原有的黑垆土层上部形成了新的黄土覆盖层^[2], 在分布区南部甚至出现壤化现象。黑垆土的成土母质为黄土, 受水热条件的影响, 土壤黏化作用微弱, 一般难以形成明显的黏化层, 仅在南部区域具有隐黏化特征, 且隐黏化层与腐殖质层一致^[3], 但受黄土母质富钙的影响, 黑垆土具有很强的钙化作用, 碳酸钙积累明显, 在黑垆土层面上出现大量的斑点状或假菌丝体状的新生体^[4]。

土壤分类既是科学认识土壤的必要途径, 也是区域因地制宜利用土壤资源的基础。我国土壤分类早期主要受到美国及前苏联的影响, 早在20世纪30年代, 美国学者就从土壤发生分类学的角度出发对黑垆土进行了调查和分类, 美国的梭颇(J. Thorp)认为, 由于黑垆土分布区与栗钙土分布区十分接近, 部分甚至重合, 且二者的形态和物理化学性状有接近的地方, 故而将黑垆土定义为“一种发育不完善的淡栗钙土和极淡栗钙土”, 将其命名为“准栗钙土”。1955年苏联土壤学家格拉西莫夫提出黑垆土的特性在一定程度上接近于褐土和灰钙土, 认为黑垆土是介于二者之间的一种过渡性的土壤, 将其命名为“灰褐土”^[5]。尽管国外学者对于黑垆土有了初步的调查和对其性质的初步认识, 但从其对黑垆土的命名来看很难将其与褐土及栗钙土区分开来。1957年, 在我国第一次土壤普查的基础上, 朱显谟观测到黑垆土是一种受到人为活动影响较大的, 介于褐土和灰钙土之间的一种过渡性土壤, 同时根据当地民间的俗称将其命名为“黑垆土”^[2], 自此黑垆土才被正式命名下来, 并在之后的土壤普查中得到延续应用。

在第一次土壤普查时, 对于黑垆土的分类曾有不同的观点, 朱显谟等根据土壤中腐殖质含量的不同, 暂时性地将黑垆土划分为高腐殖质黑垆土、中腐殖质黑垆土、低腐殖质黑垆土以及草甸黑垆土4个亚类^[6];

而在总结普查成果时根据土壤质地和剖面特征将其划分为黏黑垆土、黑垆土和黑焦土3个类型^[1]。而在第二次土壤普查时, 黑垆土归属于钙层土纲, 分为黑垆土、轻质黑垆土、黏化黑垆土以及黑麻垆土4个亚类^[7]; 而在《中国土种志》第五卷中, 黑垆土隶属于褐土土类, 下设11个土种^[8]。在陕西省范围内, 则是结合陕西省黑垆土的实际情况, 将其划分为砂黑垆土、黑垆土和黏黑垆土3个亚类, 16个土种^[2]。在《陕西农业土壤》^[1]中则将黑垆土划分为黑焦土(轻黑垆土)、黑垆土(普通黑垆土)、黑紫土(黏黑垆土)和锈黑垆土(草甸黑垆土)4个亚类, 23个土种。尽管两次土壤普查及相关成果中对黑垆土的分类在命名上有所区别, 但其含义基本类似, 表明对于黑垆土的基本形成过程和特性有了统一的认识。

基于土壤发生理论的黑垆土分类对于认识黑垆土的形成过程、发生特性及其合理利用奠定了理论基础。但随着土壤科学的发展, 一方面建立在依据现象推测土壤发生过程(土壤发生假说)的地理发生分类的弊端逐渐暴露, 另一方面土壤类型的国际交流是世界学科发展的趋势, 发生分类下的黑垆土分类已经难以在世界范围内进行交流。我国于20世纪80年代中期开始在吸取和借鉴国际经验并结合我国实际的基础上, 以诊断层和诊断特性为基础的标准化和定量化的中国土壤系统分类得到迅速发展, 并已经受到世界各国的普遍认可。基于黑垆土在农业生产及土壤分类中的重要地位, 其在土壤系统分类中的归属也备受重视。由于黑垆土具有深厚的腐殖质层, 首要考虑的是其应该具有均腐殖质特性^[9], 因此在土壤系统分类初拟中将其划归为松软腐殖土土纲, 黑垆土亚纲, 并续分为典型黑垆土、腐殖质黑垆土和堆垫黑垆土3个土类^[10], 之后在《首次方案》^[11]中将其归属为均腐殖质土土纲、半干润均腐殖质土亚纲及黑垆土土类, 在修订后的检索系统中尽管未明确提出黑垆土的归属, 但在其与土壤发生分类的参比中将黑垆土归属于堆垫干润均腐土或简育干润均腐土^[12]。但黑垆土的系统分类归属及参比均不是基于黑垆土的实际剖面调查获得的, 而是主要依据第二次土壤普查的典型剖面信息, 基于黑垆土可能具有均腐殖质特性这一诊断特性开展的, 且至今未见基于剖面调查的黑垆土系统高

^① 陕西省土壤普查鉴定委员会办公室. 陕西土壤(初稿). 1959.

级和基层单元分类归属的报道。

黑垆土在陕西省分布面积尽管不大,仅占土壤总面积的 3.2%,但其分布范围广,在黄土高原区的农业生产中占据有重要地位,因此开展黑垆土基层分类对丰富我国土壤系统分类体系及指导和保护黑垆土的科学利用具有重要意义。基于此,本文以陕西省黄土高原区 9 个典型黑垆土剖面为研究对象,在土壤野外调查、样品采集与分析的基础上,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,为黑垆土资源的开发与保护提供基础,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

黑垆土零星分布于陕西省黄土高原区,该区位于 $33^{\circ}40' \sim 39^{\circ}35'N$, $107^{\circ}15' \sim 110^{\circ}30'E$,南接关中平原,北邻毛乌素沙地,地貌跨越黄土台塬区、黄土丘陵沟壑区及风沙滩区,支离破碎,土壤侵蚀严重,海拔 800 ~ 1 800 m。分布区属于暖温带半干旱-半湿润季风

气候类型,年均气温 8 ~ 10 °C,降水量 350 ~ 500 mm,蒸发量 1 600 ~ 2 400 mm。南部的黏黑垆土主要分布在渭北高原侵蚀轻微的平坦塬面和河谷川台地上^[13],中部的普通黑垆土主要分布在残塬、梁峁顶部以及分水鞍等区域,北部的砂黑垆土则主要分布在白于山顶部及长城沿线沟地上。由于黑垆土分布区域相对平坦,侵蚀轻微,因此大部分黑垆土均被用作农业用地,是黄土高原区重要的粮食及蔬菜水果产区。

1.2 样品采集与分析

2016 年 8—9 月,以第二次土壤普查形成的黑垆土空间分布图为基础,同时考虑黑垆土分布区地貌、土地利用、交通等状况,选取 9 个剖面(大致对应代表性的黑垆土土种典型剖面位置)作为陕西省黑垆土的典型剖面(图 1)。依据《野外土壤描述与采样手册》^[14]进行野外黑垆土剖面的挖掘,每个剖面深度在 120 cm 以上,同时按照颜色、质地、结构等的差异每个剖面划分 3 ~ 5 个发生层次,对各层进行土样采集,同时观察并记录剖面的环境景观、剖面形态、成土母质、土地利用等信息(表 1)。野外采样工作完成后,将所

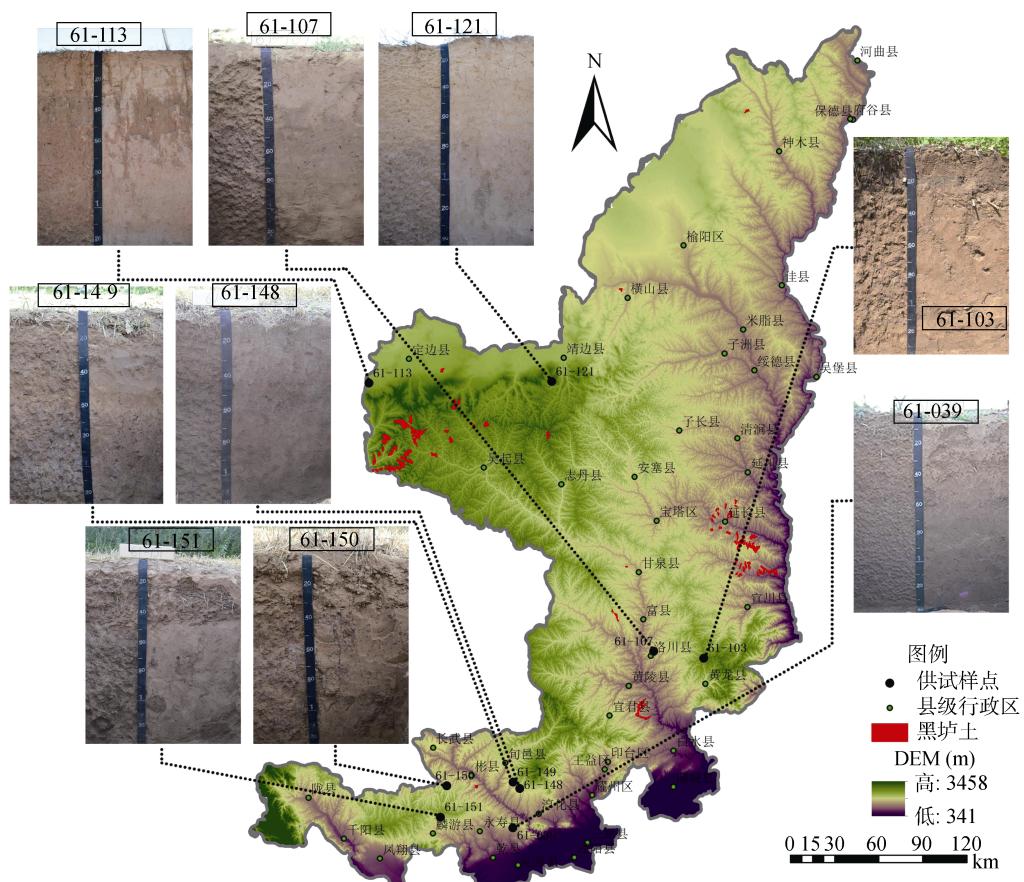


图 1 供试样点分布及剖面图
Fig. 1 Distribution of sampling sites and profile images of dark loessial soil in Shaanxi

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

| 剖面 | 剖面地点 | 经纬度 | 海拔(m) | 地貌地形 | 成土母质 | 土地利用 |
|--------|---------|-----------------------------|-------|--------------|------|---------|
| 61-148 | 淳化县胡家庙乡 | 108°26'8"E, 34°57'19"N | 1 221 | 黄土台塬-残塬塬面 | 黏黄土 | 旱地 |
| 61-103 | 黄龙县崾崄镇 | 109°49'34.2"E, 35°44'34.8"N | 1 515 | 黄土丘陵岗地-宽沟谷台地 | 黄土 | 旱耕地或林草地 |
| 61-151 | 麟游县崔木镇 | 107°50'38"E, 34°46'48"N | 1 432 | 黄土台塬-梁状丘陵顶部 | 黏黄土 | 旱地 |
| 61-107 | 洛川县枫栎镇 | 109°26'56.1"E, 35°47'22.9"N | 1 182 | 黄土高原-塬面 | 黏黄土 | 果园 |
| 61-150 | 彬州市韩家镇 | 107°53'24"E, 34°58'22"N | 1 312 | 黄土台塬-残塬塬面 | 黏黄土 | 水浇地 |
| 61-121 | 靖边县席麻湾镇 | 108°41'45"E, 37°27'10"N | 1 490 | 沙盖残塬-平缓处 | 黄土 | 旱地 |
| 61-039 | 礼泉县叱干镇 | 108°22'59"E, 34°42'46"N | 1 088 | 低山丘陵-顶部残塬 | 黄土 | 水浇地 |
| 61-113 | 定边县红柳沟镇 | 107°17'12"E, 37°26'37"N | 1 387 | 风沙草滩地 | 离石黄土 | 旱地 |
| 61-149 | 旬邑县土桥镇 | 108°23'8"E, 34°59'40"N | 1 267 | 黄土台塬-塬面 | 黏黄土 | 水浇地 |

采集的样品带回实验室进行风干、去杂、比色、研磨、过筛等处理后供室内理化性质分析。土壤基本理化性质分析依据《土壤调查实验室分析方法》^[15]进行,其中pH用pH计测定(土:水=1:2.5),CaCO₃采用气量法测定,土壤有机碳采用重铬酸钾-氧化外加热法测定,土壤可溶性盐总量采用重量法测定,土壤容重采用环刀法测定,土壤颗粒组成采用激光粒度仪测定。

2 结果与分析

2.1 剖面形态状况和理化性状

2.1.1 选取土壤剖面的形态状况 深厚的腐殖质层是黑垆土的典型特征,由图1和表2可以看出选取的9个剖面的黑垆土层次厚度介于30~120 cm,尽

管颜色均以10YR为主,但该层次的颜色相对较暗,色度一般较表层低1~2个单位。位于研究区南部的61-148、61-151、61-107、61-150、61-039和61-149剖面受到长期农业生产活动的影响,上部可以观察到炭渣、砖瓦片等侵入体,形成了厚约30~45 cm的堆垫层次。黄土母质的富钙特征也决定了碳酸钙的淋溶与淀积是黑垆土形成发育过程中的重要一环,除发生分类中归属于砂黑垆土的61-121和61-113剖面外,其余7个剖面土体中均可见碳酸钙斑点状或假菌丝体状,甚至豆状碳酸钙结核。61-103剖面则具有暗沃表层,其具有有机碳含量较高、盐基饱和、表层为结构良好的深色腐殖质表层的特性,剖面的明度和彩度都偏低。

表2 供试土壤的剖面形态特征及主要理化性质特征
Table 2 Profile morphological characteristics and physiochemical properties of studied soil profiles

| 剖面 | 发生层 | 深度(cm) | 颜色 | 土壤新生体 | 侵入体 | 砂粒 2~ 粉粒 0.05~ 0.05mm 0.002 mm <0.002 mm | 黏粒 (g/kg) | 容重 (g/cm ³) | pH (H ₂ O) | 有机碳 (g/kg) | CaCO ₃ (g/kg) | 易溶 性盐 总量 (g/kg) |
|--------|-------|---------|----------|-----------------------|-------|---|--------------|----------------------------|--------------------------|---------------|-----------------------------|--------------------------|
| | | | | | | | | | | | | |
| 61-148 | Aupz1 | 0~20 | 10YR 6/4 | - | 炭渣、瓦片 | 59.02 | 731.57 | 209.40 | 1.46 | 8.5 | 8.6 | 87.0 3.65 |
| | Aupz2 | 20~45 | 10YR 5/4 | - | 炭渣、瓦片 | 54.63 | 739.33 | 206.04 | 1.54 | 8.5 | 6.8 | 55.7 2.28 |
| | Btk | 45~90 | 10YR 6/3 | 黏粒胶膜、假菌丝体 | - | 51.19 | 707.60 | 241.22 | 1.36 | 8.4 | 5.3 | 133.7 1.30 |
| | Bk | 90~120 | 10YR 6/3 | 假菌丝体、豆状结核 | - | 73.16 | 700.09 | 226.76 | 1.34 | 8.4 | 4.3 | 189.5 0.54 |
| 61-103 | Ah1 | 0~17 | 10YR 4/4 | - | - | 121.70 | 644.85 | 233.45 | 1.11 | 8.5 | 25.4 | 32.4 1.44 |
| | Ah2 | 17~25 | 10YR 4/4 | - | - | 70.35 | 692.97 | 236.68 | 1.37 | 8.6 | 15.7 | 33.9 0.30 |
| | Bk1 | 25~55 | 10YR 6/4 | - | - | 40.31 | 739.56 | 220.14 | 1.33 | 8.9 | 10.4 | 110.3 0.51 |
| | Bk2 | 55~120 | 10YR 5/3 | 斑点状或假菌丝体 状新生体 | - | 49.20 | 740.10 | 210.71 | 1.45 | 8.9 | 6.8 | 57.3 0.78 |
| | C | 120~140 | 10YR 5/3 | - | - | 60.60 | 719.59 | 219.81 | 1.47 | 8.8 | 6.4 | 95.4 1.07 |
| 61-151 | Aup | 0~20 | 10YR 6/4 | - | 炭渣、瓦片 | 75.44 | 729.87 | 194.69 | 1.53 | 8.5 | 5.2 | 12.5 0.75 |
| | Aupk | 20~45 | 10YR 6/4 | - | 炭渣、瓦片 | 67.40 | 725.69 | 206.91 | 1.37 | 8.2 | 6.7 | 75.1 1.15 |
| | Bk1 | 45~90 | 10YR 6/3 | 斑点状或假菌丝体 状新生体 | - | 86.85 | 719.53 | 193.63 | 1.49 | 8.3 | 4.0 | 132.8 0.60 |
| | Bk2 | 90~130 | 10YR 6/3 | 斑点状或假菌丝体 状新生体、豆状结核 | - | 92.01 | 716.73 | 191.26 | 1.35 | 8.4 | 4.0 | 141.0 0.63 |

续表

| 剖面 | 发生层 | 深度(cm) | 颜色 | 土壤新生体 | 侵入体 | 砂粒 2~0.05mm (g/kg) | | 粉粒 0.05~0.002 mm (g/kg) | | 黏粒 <0.002 mm (g/kg) | | 容重 (g/cm ³) | pH (H ₂ O) | 有机碳 (g/kg) | CaCO ₃ (g/kg) | 易溶性盐总量 (g/kg) |
|--------|------|---------|-----------|-------------------|-------|--------------------|-----------------|-------------------------|--------------------|---------------------|--------|-------------------------|-----------------------|------------|--------------------------|---------------|
| | | | | | | 0.05mm (g/kg) | 0.002 mm (g/kg) | <0.002 mm (g/kg) | (H ₂ O) | (g/kg) | (g/kg) | | | | | |
| 61-107 | Aup1 | 0~26 | 10YR 5/4 | - | 炭渣、瓦片 | 134.25 | 639.89 | 225.85 | 1.46 | 8.7 | 12.2 | 36.0 | 1.20 | | | |
| | Aup2 | 26~40 | 10YR 5/4 | - | 炭渣、瓦片 | 123.95 | 661.74 | 214.31 | 1.54 | 8.7 | 5.7 | 24.5 | 0.22 | | | |
| | Bk1 | 40~100 | 10YR 5/3 | 斑点状或假菌丝体状新生体 | - | 117.05 | 688.95 | 194.00 | 1.31 | 8.4 | 6.0 | 36.3 | 0.96 | | | |
| | Bk2 | 100~120 | 10YR 5/3 | 斑点状或假菌丝体状新生体、豆状结核 | - | 145.62 | 652.85 | 201.52 | 1.35 | 8.2 | 4.4 | 119.4 | 0.71 | | | |
| | C | 120~130 | 10YR 5/4 | - | - | 207.48 | 617.79 | 174.74 | 1.33 | 8.6 | 5.6 | 36.1 | 0.25 | | | |
| 61-150 | Aup | 0~30 | 10YR 5/4 | - | 炭渣、瓦片 | 100.39 | 682.96 | 216.65 | 1.21 | 8.4 | 8.4 | 20.7 | 1.32 | | | |
| | Buk | 30~55 | 10YR 5/4 | - | 炭渣、瓦片 | 81.54 | 723.33 | 195.13 | 1.49 | 8.4 | 5.0 | 114.7 | 0.78 | | | |
| | Bk1 | 55~90 | 10YR 6/3 | 斑点状或假菌丝体状新生体 | - | 96.57 | 706.08 | 197.35 | 1.45 | 8.4 | 4.0 | 130.1 | 1.09 | | | |
| | Bk2 | 90~120 | 10YR 6/3 | 斑点状或假菌丝体状新生体、豆状结核 | - | 99.45 | 703.33 | 197.22 | 1.5 | 8.4 | 3.8 | 152.6 | 0.61 | | | |
| | Ah | 0~40 | 10YR 5/4 | - | - | 807.46 | 116.45 | 76.09 | 1.43 | 8.5 | 3.4 | 40.2 | 0.40 | | | |
| 61-039 | Bw | 40~80 | 10YR 5/4 | - | - | 703.85 | 177.61 | 118.54 | 1.47 | 8.4 | 3.9 | 54.3 | 1.00 | | | |
| | 2A | 80~140 | 10YR 4/3 | - | - | 326.56 | 468.90 | 204.55 | 1.37 | 8.3 | 3.9 | 32.5 | 0.47 | | | |
| | Aup1 | 0~15 | 10YR 6/3 | - | 炭渣、瓦片 | 51.93 | 688.76 | 259.31 | 1.39 | 8.5 | 10.2 | 104.2 | 0.38 | | | |
| | Aup2 | 15~25 | 10YR 6/3 | - | 炭渣、瓦片 | 26.69 | 701.02 | 272.30 | 1.58 | 8.5 | 8.5 | 115.0 | 0.75 | | | |
| | Au | 25~45 | 10YR 6/3 | - | 炭渣、瓦片 | 21.71 | 696.80 | 281.49 | 1.51 | 8.6 | 4.4 | 113.0 | 0.87 | | | |
| 61-121 | Bk1 | 45~85 | 10YR 6/2 | 斑点状或假菌丝体状新生体 | - | 18.58 | 699.18 | 282.24 | 1.37 | 8.4 | 5.3 | 115.8 | 0.09 | | | |
| | Bk2 | 85~120 | 10YR 6/2 | 斑点状或假菌丝体状新生体、豆状结核 | - | 13.51 | 718.55 | 267.94 | 1.52 | 8.3 | 6.2 | 100.1 | 0.50 | | | |
| | Ah | 0~25 | 7.5YR 5/4 | - | - | 158.40 | 649.91 | 191.69 | 1.57 | 9.0 | 3.8 | 77.5 | 1.07 | | | |
| | 2A | 25~45 | 7.5YR 5/4 | - | - | 276.49 | 541.98 | 181.54 | 1.32 | 8.9 | 7.3 | 71.0 | 0.73 | | | |
| | Bw1 | 45~90 | 7.5YR 5/3 | - | - | 170.34 | 637.69 | 191.97 | 1.31 | 8.8 | 5.3 | 78.5 | 1.17 | | | |
| 61-149 | Bw2 | 90~120 | 7.5YR 5/3 | - | - | 224.86 | 588.47 | 186.67 | 1.41 | 8.4 | 4.8 | 74.8 | 4.02 | | | |
| | Aup1 | 0~20 | 10YR 6/4 | - | 炭渣、瓦片 | 63.07 | 731.49 | 205.44 | 1.34 | 8.4 | 9.9 | 76.4 | 1.37 | | | |
| | Aup2 | 20~35 | 10YR 6/4 | - | 炭渣、瓦片 | 63.39 | 742.53 | 194.09 | 1.52 | 8.3 | 9.3 | 66.0 | 1.78 | | | |
| | Bk | 35~60 | 10YR 6/3 | 斑点状或假菌丝体状新生体 | - | 48.76 | 748.01 | 203.23 | 1.59 | 8.2 | 6.7 | 39.2 | 1.23 | | | |
| | 2Ak | 60~130 | 10YR 5/3 | 斑点状或假菌丝体状新生体、豆状结核 | - | 48.38 | 728.44 | 223.18 | 1.34 | 8.2 | 6.1 | 39.8 | 2.60 | | | |

2.1.2 选取土壤剖面的物理化学性状 表 2 中可明显看出, 所选用剖面土壤的质地主要为粉质壤土、砂质壤土以及粉砂质黏壤土。除 61-121 剖面外, 其余各剖面土壤颗粒组成中粉粒含量最高(116.45~748.01 g/kg), 而 61-121 剖面由于地处风沙滩区, 表层细颗粒多被风蚀走, 故剖面上部以砂粒含量为主; 土壤容重介于 1.11~1.59 g/cm³ 之间, 平均值为 1.41 g/cm³, 各剖面总体结构发育一般。所研究的剖面均呈现弱碱性, pH 介于 8~9, CaCO₃ 的含量介于 12.5~189.5 g/kg, 在各剖面中总体上呈现由上到下先增加再降低的趋势; 土壤有机碳含量介于 3.4~

25.4 g/kg, 平均为 6.94 g/kg, 在剖面上呈现自上而下不断减少的趋势, 但大部分剖面未出现陡减的趋势。各剖面层次的易溶性盐总量介于 0.09~4.02 g/kg, 仅剖面 61-148 的 0~45 cm 层次易溶性盐含量超过 2 g/kg, 具有盐积现象。

2.2 诊断层及诊断特性

2.2.1 诊断层与诊断现象 所选黑垆土剖面根据检索标准共涉及 5 个诊断层和 3 个诊断现象。其中诊断表层包括淡薄表层、暗沃表层, 诊断表下层包括黏化层、钙积层和雏形层, 诊断现象包括堆垫现象、钙积现象、盐积现象(表 3)。①淡薄表层: 除剖面 61-103

外,其余8个剖面表层不符合暗沃表层和暗瘠表层的诊断标准,因此检索为淡薄表层;②暗沃表层:剖面61-103表层由于其受到强烈侵蚀作用,导致其原埋藏黑垆土层出露,且厚度 ≥ 25 cm,同时有机碳含量大于6 g/kg,盐积饱和(因 CaCO_3 含量介于32.4~33.9 g/kg),满足暗沃表层的检索标准;③黏化层:剖面61-148的45~90 cm层次黏粒含量为241.22 g/kg,且较上层高出20%以上,结构面可观察到明显的黏粒胶膜;钙积层:剖面61-148、61-103、61-151、61-107、61-150、61-039和61-149都存在 CaCO_3 新生体,同时前5个剖面还存在某一土层的 CaCO_3 含量比上层高至少50 g/kg的情况,且该土层的 CaCO_3 含量皆大于100 g/kg,或可见 CaCO_3 粉末、假菌丝体等新生体;⑤锥形层:除剖面61-148外,其余8个黑垆土剖面发育微弱,均未形成明显的黏化层,但剖面或具有明显的 CaCO_3 或易溶性盐的移动和淀积,或具有微弱发育的块状结构,从而达到锥形层的检索标准。①堆垫现象:剖面61-148、61-151、61-107、61-150、61-039以及61-149剖面表层中可见明显炭渣及砖瓦片等人为侵入土,但厚度仅介于30~45 cm,未达到堆垫表层,但满足堆垫现象;②钙积现象:剖面61-148、61-103、61-151、61-107、61-150以及61-149中所包含的次生 CaCO_3 土层的厚度介于25~60 cm, CaCO_3 含量较上覆土层高15~83 g/kg,具有钙积现象;③盐积现象:剖面61-148表层0~45 cm易溶性盐含量超过2 g/kg,符合盐积现象的检索标准。

2.2.2 诊断特性 从表2、表3可以看出:①均腐殖质特性:从土壤有机碳在剖面层次上的分布来看,61-103、61-107剖面出现陡减现象,61-151、61-121和61-113剖面出现下层高于表层的现象,61-039剖面未呈现由上向下递减的趋势,因此这6个剖面排除均腐殖质特性,而经过计算,61-148、61-150和61-1493个剖面的Rh介于0.23~0.25,表层C/N介于

10.48~12.31,符合均腐殖质特性;②土壤温度状况:依据年均温及其与所处纬度之间的关系推算黑垆土分布区50 cm深处土温介于9~16 °C,属温性土壤温度状况^[15];③土壤水分状况:据降水量与蒸发量之间的关系推算黑垆土分布区土壤干燥度介于1.5~2.3,均不受地下水上下迁移的影响,或由于土壤农业利用受定期灌溉的影响,故均为半干润土壤水分状况^[16];④石灰性:野外稀盐酸反应和 CaCO_3 相当物含量(均 ≥ 10 g/kg)表明,所有剖面均具有石灰反应。

表3 供试土壤诊断层与诊断特性

Table 3 Diagnostic horizons and characteristics of studied soil profiles

| 诊断层和诊断特性 | 剖面编号 |
|-----------|---|
| 淡薄表层 | 61-148、61-151、61-107、61-150、61-121、61-039、61-113、61-149 |
| 暗沃表层 | 61-103 |
| 黏化层 | 61-148 |
| 钙积层 | 61-148、61-103、61-151、61-107、61-150、61-039、61-149 |
| 锥形层 | 61-103、61-151、61-107、61-150、61-121、61-039、61-113、61-149 |
| 堆垫现象 | 61-148、61-151、61-107、61-150、61-039、61-149 |
| 钙积现象 | 61-148、61-103、61-151、61-107、61-150、61-149 |
| 盐积现象 | 61-148 |
| 温性土壤温度状况 | 全部剖面 |
| 半干润土壤水分状况 | 全部剖面 |
| 石灰性 | 全部剖面 |

2.3 土壤系统分类体系中的归属

2.3.1 高级分类归属 依据《中国土壤系统分类检索(第三版)》^[12]的高级分类检索标准,供试的9个黑垆土剖面共检索出淋溶土和锥形土2个土纲,向下可继分为普通钙积干润淋溶土、钙积暗沃干润锥形土、钙积简育干润锥形土以及普通简育干润锥形土4个亚类(表4)。

表4 供试土壤在系统分类高级分类单元的归属
Table 4 High level classification of studied soils

| 土纲 | 亚纲 | 土类 | 亚类 | 剖面编号 |
|-----|-------|-----------|------------------------------------|--------|
| 淋溶土 | 干润淋溶土 | 钙积干润淋溶土 | 普通钙积干润淋溶土 | 61-148 |
| | | 暗沃干润锥形土 | 钙积暗沃干润锥形土 | 61-103 |
| 锥形土 | 干润锥形土 | 钙积简育干润锥形土 | 61-151、61-107、61-150、61-039、61-149 | |
| | | 普通简育干润锥形土 | 61-121、61-113 | |

2.3.2 建立土族 所选的9个土壤剖面均不含黏磐层及石质接触面,故其土族控制层段定为0~100 cm。所选用的土族鉴别特征指标包括土壤的颗粒大小级

别、土壤的矿物类型、土壤的石灰性及酸碱度以及土壤温度(表5)^[16]。土壤的颗粒大小级别:从所选剖面颗粒组成来看,61-148和61-039剖面控制层段黏粒

含量介于 206.04~282.24 g/kg, 为黏壤质; 61-121 剖面控制层段砂粒含量为 755.66 g/kg, 为砂质; 其余剖面控制层段黏粒含量介于 181.54~236.68 g/kg, 为壤质。土壤的矿物类型: 黑垆土的成土母质均为黄土, 依据 0.02~2 mm 颗粒的原生矿物 x 射线衍射测定结果, 剖面 61-103 和 61-121 为硅质混合型, 其余剖面为混合型。石灰性及酸碱度: 所有剖面 0~100 cm 控

制层段内均有强烈石灰反应, 为石灰性。土壤温度: 陕西省土壤温度状况表现为: 秦岭山区及其以北为温性, 汉江河谷地区及其以南为热性^[16], 而黑垆土分布区均处在温性范围内, 其 50 cm 深处土温介于 10.78~13.82 °C(依据文献[17]公式推算: $y = 39.856 - 5.0653 \times x_1 - 0.0031 x_2$, 其中 y : 50 cm 深处土温; x_1 : 纬度; x_2 : 海拔)。

表 5 供试土壤土族控制层段内鉴别特征
Table 5 Identification characteristics of soil families of studied soil profiles

| 剖面编号 | 岩石碎屑含量(>2 mm, %) | 颗粒大小级别 | 矿物类型 | 石灰性及酸碱度 | 土壤温度 |
|--------|------------------|--------|-------|---------|------|
| 61-148 | 0 | 黏壤质 | 混合型 | 石灰性 | 温性 |
| 61-103 | 0 | 壤质 | 硅质混合型 | 石灰性 | 温性 |
| 61-151 | 0 | 壤质 | 混合型 | 石灰性 | 温性 |
| 61-107 | 0 | 壤质 | 混合型 | 石灰性 | 温性 |
| 61-150 | 0 | 壤质 | 混合型 | 石灰性 | 温性 |
| 61-121 | 0 | 砂质 | 硅质混合型 | 石灰性 | 温性 |
| 61-039 | 0 | 黏壤质 | 混合型 | 石灰性 | 温性 |
| 61-113 | 0 | 壤质 | 混合型 | 石灰性 | 温性 |
| 61-149 | 0 | 壤质 | 混合型 | 石灰性 | 温性 |

依据土族划分标准^[18], 所选 9 个黑垆土剖面共检索出 6 个土族(表 6), 分别为黏壤质混合型温性-普通钙积干润淋溶土(61-148)、壤质硅质混合型温性-钙积暗沃干润雏形土(61-103)、壤质混合型温性-钙积暗沃干润雏形土(61-107)、壤质混合型温性-钙积暗沃干润雏形土(61-149)、壤质混合型温性-钙积暗沃干润雏形土(61-151)、壤质混合型温性-钙积暗沃干润雏形土(61-150)、硅质混合型石灰性温性-普通钙积干润淋溶土(61-121)、黏壤质混合型石灰性温性-钙积暗沃干润雏形土(61-039)和壤质混合型石灰性温性-普通钙积暗沃干润雏形土(61-113)。

表 6 供试剖面土族土系划分
Table 6 Soil families and soil series of studied soil profiles

| 土族 | 土系 | 代表剖面 | 土系建立依据 | 参比土种 |
|------------------------|-------|--------|-------------------------------------|-------|
| 黏壤质混合型温性-普通钙积干润淋溶土 | 胡家庙系 | 61-148 | - | 垆土 |
| 壤质硅质混合型温性-钙积暗沃干润雏形土 | 崾崄系 | 61-103 | - | 壤质黑垆 |
| 壤质混合型温性-钙积暗沃干润雏形土 | 崔木系 | 61-151 | 台塬区的梁状丘陵顶部, 有侵蚀风险 | 灰黏黑垆 |
| | 枫栎系 | 61-107 | 平坦塬面, 结构上下一致, 均呈块状结构, 腐殖质层薄且色浅, 果园 | 黄盖黏黑垆 |
| | 程王系 | 61-149 | 平坦塬面, 结构上下一致, 均呈块状结构, 腐殖质层厚且色暗, 水浇地 | 黏黑垆 |
| | 桥上系 | 61-150 | 中部呈现棱块状结构, 并有裂隙 | 垆土 |
| 硅质混合型石灰性温性-普通钙积干润淋溶土 | 羊圈湾则系 | 61-121 | - | 黄盖黑焦土 |
| 黏壤质混合型石灰性温性-钙积暗沃干润雏形土 | 叱干系 | 61-039 | - | 红垆土 |
| 壤质混合型石灰性温性-普通钙积暗沃干润雏形土 | 红柳沟系 | 61-113 | - | 黄盖黑焦土 |

2.3.3 建立土系 本文所选 9 个黑垆土剖面均不含黏磐层及石质接触面, 而准石质接触面到土表的距离均在 120 cm 以上, 故而根据土系控制层段要体现土壤整体剖面性状的要求, 将本研究中的土系控制层段设置为 0~120 cm。主要依据各土壤剖面控制层段中特征土层组合的不同, 对土系进行划分。

从表 6 中可明显看出, 9 个黑垆土剖面共建立了

9 个不同的土系。尽管 61-151、61-107、61-149、61-150 剖面同属壤质混合型温性-钙积暗沃干润雏形土, 但从具体地貌上来看, 61-151 为位于台塬区的梁状丘陵顶部旱地, 具有一定的坡度和侵蚀的风险, 也没有灌溉条件; 61-107、61-149 和 61-150 均处于平坦塬面的果园和水浇地, 从剖面土壤结构来看, 61-150 中部为棱块状结构, 有裂隙, 61-107 和 61-149 结构

上下一致, 均为块状结构, 但前者腐殖质层厚度明显小于后者, 且后者颜色更暗(图1), 前者土地利用为果园, 后者为水浇地, 故而该土族下的4个剖面划为4个土系(崔木系、枫栖系、程王系和桥上系)。其余5个不同土族中均只有1个剖面, 故可分别建立相应的土系(61-148、61-103、61-121、61-039和61-113分别划为胡家庙系、崾崄系、羊圈湾则系、叱干系和红柳沟系)。

3 讨论

作为在土壤发生分类上褐土带和栗钙土带过渡性的土壤类型, 黑垆土分布带南北跨度大(跨越5个纬度以上), 因此不同的黑垆土亚类之间剖面特征、理化性质、利用方式上具有明显的差异。而砂黑垆土、黑垆土及黏黑垆土等亚类的发生分类命名上也对南北不同位置上的黑垆土进行了较为明晰的界定, 尽管这样的界定并没有定量的指标, 但其对于黑垆土的利用指明了方向, 易于理解。本文依据土壤系统分类的检索标准对采集的9个黑垆土剖面进行了系统分类归属检索, 结果表明在土纲上仅61-148剖面由于具有黏化层归为淋溶土纲而与其他剖面区分开来, 在亚纲上其余8个剖面均为干润锥形土而未区分开来; 在土类级别上仅因61-103剖面具有暗沃表层而与其余7个剖面区分开, 在亚类上61-151、61-107、691-149和61-1504个剖面因具有钙积层而与其余3个剖面区分开, 而剩余的剖面则在土族上因土壤颗粒大小级别的差异才区分开。而且在开展土系调查项目的过程中, 发现很多黑垆土的系统分类归属与黄绵土的系统分类归属基本一致^②。由此表明目前的土壤系统分类检索对于性质具有巨大差异的黑垆土的系统分类归属的检索结果不甚理想, 而黑垆土所具有的深厚腐殖质层这一最本质特征在分类中没有很好地体现出来, 因此针对黑垆土的系统分类归属仍需要开展更深入的研究, 在诊断层及诊断特性上仍需进一步明晰。

由于人为活动及自然黄土沉降而逐渐将深厚的腐殖质层下移是黑垆土的典型特征, 表明黑垆土的土壤有机碳含量自表层向下应是逐渐降低而不出现陡降的现象, 因此在诊断特性上首先考虑土壤具有均腐殖质特性, 而从选取的9个剖面的土壤有机碳分布来看, 符合均腐殖质特性的剖面包括61-148、61-150和61-149, 而计算出的Rh和C/N的结果也表明3个

剖面的Rh介于0.23~0.25(均<0.4), C/N介于10.48~12.31(均<17), 符合均腐殖质特性中相应的要求, 但3个剖面均不具有暗沃表层, 因此均不符合均腐土的检索标准。由此表明尽管黑垆土具有深厚的腐殖质层可能达到均腐殖质特性, 但黑垆土通常位于黄土高原区侵蚀轻微的平坦塬面、滩地及沟坡边缘, 大部分被开垦为农田, 表层很难达到暗沃表层的检索标准, 因此在黑垆土的土壤系统分类参比中将其归为堆垫干润均腐土和简育干润均腐土^[12]是值得商榷的。

黄土台塬区与关中平原毗邻, 因此分布在黄土台塬区的黏黑垆土与关中平原的典型土壤壤土具有类似的特征^[19], 即人为长期在表层施加土粪而形成明显的人为堆垫层次, 这一点从剖面表层一定深度内均可发现明显的炭渣、砖瓦片等侵入体可以看出, 因此人为堆垫是位于黄土台塬区的黏黑垆土的重要成土过程。但由于黑垆土区的农业生产活动要晚于关中平原区(唐宋时期关中移民北上, 改变了黄土台塬区以牧业为主的农业生态环境而发展为兴农耕耘^③), 造成堆垫表层相对较薄(30~45 cm), 没有达到堆垫表层的要求(≥ 50 cm), 仅可检索为堆垫现象。本文中选取的9个黑垆土剖面中有6个剖面具有堆垫现象, 除了剖面61-148由于有明显的淋溶土特性, 划为普通钙积干润淋溶土之外^[12], 61-151、61-107、61-150、61-039和61-149剖面都具有钙积层而归属于钙积简育干润锥形土。由此可以看出具有明显堆垫现象的6个黑垆土剖面, 在系统分类归属上均未体现出堆垫现象这一重要诊断依据, 因此建议在干润锥形土亚纲下增设堆垫干润锥形土土类, 因为在干润锥形土亚纲之下依据具有灌淤现象而首先的检索土类是灌淤干润锥形土土类, 而灌淤和人为堆垫均是人为活动对于土壤形成及其性质的影响, 因此堆垫现象应与灌淤现象放置在平行地位, 进而将堆垫干润锥形土与灌淤干润锥形土并列设置。或者在简育干润锥形土土类下增设堆垫简育干润锥形土亚类, 且将其排在钙积简育干润锥形土之前, 以突出人为堆垫对于土壤形成及其性质的影响。

4 结论

陕西省9个黑垆土剖面在中国土壤系统分类体系的高级分类上共检索为2个土纲、2个亚纲、3个土类、4个亚类(普通钙积干润淋溶土、钙积暗沃干润锥形土、钙积简育干润锥形土以及普通简育干润锥

^② 常庆瑞, 齐雁冰, 刘梦云, 著. 中国土系志·陕西卷. 科学出版社, 2021, 待出版.

^③ 陕西省咸阳市土壤普查办公室. 陕西省咸阳土壤. 1987.

形土)、6 个土族和 9 个土系。从土壤发生分类与系统分类对黑垆土性质的区分度上来看, 系统分类并未能充分体现黑垆土的深厚腐殖质层的特性及堆垫现象的特征, 因此仍需对黑垆土系统分类的检索体系开展进一步的研究, 为突出人为堆垫对于土壤形成及其性质的影响, 建议增设堆垫干润锥形土土类或堆垫简育干润锥形土亚类。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 陕西省土壤普查办公室, 郭兆元. 陕西土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [3] 季耿善. 黑垆土的形成环境[J]. 土壤学报, 1992, 29(2): 113–125.
- [4] 张淑光. 黄土侵蚀地区黑垆土的形成、分布和利用[J]. 水土保持学报, 1988, 2(3): 65–73.
- [5] 赵民涵. 延安土壤[M]. 西安: 西安地图出版社, 1989.
- [6] 朱显谟, 贾文锦, 张相麟, 等. 暂拟陕西土壤分类系统[J]. 土壤通报, 1959(1): 23–27.
- [7] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [8] 全国土壤普查办公室. 中国土种志—第四卷[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [9] 黄义端, 李槟, 王恒俊, 等. 黑垆土诊断表层的特征及诊断指标的研究 //《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[C]. 北京: 科学出版社, 1993: 303–310.
- [10] 中国科学院南京土壤研究所土壤分类课题组. 中国土壤系统分类初拟[J]. 土壤, 1985, 17(6): 290–318.
- [11] 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: 首次方案[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [12] 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[M]. 3 版. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001.
- [13] 刘兆谦. 陕西土壤地带性分布规律[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 1983, 11(2): 131–137.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 冯学民, 蔡德利. 土壤温度与气温及纬度和海拔关系的研究[J]. 土壤学报, 2004, 41(3): 489–491.
- [18] 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.
- [19] 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.