

# 宁夏山地土壤的发育规律及系统分类研究\*

曲潇琳<sup>1, 2</sup> 龙怀玉<sup>1†</sup> 曹祥会<sup>1</sup> 谢平<sup>1</sup>

(1 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

(2 农业农村部耕地质量监测保护中心, 北京 100125)

**摘要** 为全面了解宁夏山地土壤的发育特性及其系统分类归属, 基于宁夏土系调查项目挖掘的典型剖面, 选取 10 个发育在宁夏贺兰山山地 (剖面编号为 3、11、13、14 和 108) 和六盘山山地 (剖面编号为 73、82、119、120 和 121) 的土壤作为研究对象, 结合剖面形态特征和理化性质, 尝试对山地土壤的发育特征和系统分类归属进行研究。结果表明: (1) 发育在宁夏的 10 个山地土壤高级单元归属为新成土、雏形土、淋溶土和均腐土等 4 个土纲, 正常新成土、干润雏形土、湿润雏形土、冷凉淋溶土、湿润均腐土等 5 个亚纲, 干旱正常新成土、筒育干润雏形土、暗沃干润雏形土、冷凉湿润雏形土、筒育冷凉淋溶土、斑纹湿润均腐土等 6 个土类, 石灰干旱正常新成土、普通筒育干润雏形土、普通暗沃干润雏形土、暗沃冷凉湿润雏形土、普通筒育冷凉淋溶土、斑纹筒育湿润均腐土等 6 个亚类, 续分为 10 个土族, 包括粗骨砂质硅质混合型温性—石灰干旱正常新成土, 粗骨砂质长石型温性—石灰干旱正常新成土, 壤质长石混合型石灰性冷性—普通筒育冷凉淋溶土, 砂质硅质混合型非酸性冷性—斑纹筒育湿润均腐土等, 10 个供试剖面在土族完全分异, 因而续分为 10 个土系, 包括葡萄泉系、一堆系、滚钟口系、六盘山公园系、绿塬腰系等 10 个土系。(2) 海拔对宁夏山地土壤的发育特征有着明显影响, 表现为随海拔升高: 腐殖质积累过程逐渐明显、土体淋溶过程加剧、土体石灰反应逐渐减弱直至消失; 土壤水分条件逐渐改善, 处于高海拔位置的山地土壤土体底部有弱氧化还原反应发生, 形成铁子和铁锰胶膜; 土壤 pH 逐渐减小, 土壤酸碱性发生一定的变化。(3) 受成土环境和成土因素的作用, 土壤发育规律在诊断特征上的反映为随海拔高度的抬升呈现一定的垂直分异规律, 其中诊断表层由淡薄表层演变为暗沃表层; 土壤水分状况经干旱/半干润土壤水分状况向湿润土壤水分状况演化; 土壤温度状况由温性土壤温度状况变为冷性状况。

**关键词** 宁夏山地土壤; 地带性; 发育特征; 诊断依据; 系统分类

**中图分类号** S155.3 **文献标识码** A

土壤分类是土壤科学发展水平的反映<sup>[1]</sup>, 也是土壤科学研究成果交流、推广和国际土壤交流的重要媒介<sup>[2]</sup>。目前, 我国的土壤分类工作处在发生分类和系统分类并存, 系统分类迅速发展的关键时期, 虽然我国的土壤系统分类工作已经取得巨大成就<sup>[3-8]</sup>, 但是现阶段土壤及相关学科的研究重点

依然是传统农业土壤或者森林土壤<sup>[9]</sup>, 基于山地土壤系统分类和发育特性的研究相对较少。宁夏回族自治区地处我国西北干旱区, 土壤系统分类工作属于薄弱环节, 近期的土壤系统分类研究对象主要集中在灌淤土和灰钙土等适耕土壤, 对于山地土壤的研究则以发生分类为主, 局限在分布特征、肥力

\* 国家科技基础性工作专项 (2014FY110200A07) 资助 Supported by the Basic Work of the Ministry of Science and Technology of China (No. 2014FY110200A07)

† 通讯作者 Corresponding author, E-mail: hylong@caas.ac.cn

作者简介: 曲潇琳 (1991—), 女, 山东烟台人, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤地理与土壤分类。E-mail: quxiaolinlove@163.com

收稿日期: 2018-02-07; 收到修改稿日期: 2018-04-02; 优先数字出版日期 (www.cnki.net): 2018-05-30

特征等方面<sup>[10-12]</sup>。本文研究了10个发育在贺兰山山地和六盘山山地的土壤剖面,依据《中国土壤系统分类(第三版)》对其进行土壤系统分类的检索,并在理化性状和分类研究的基础上对山地土壤的发育特性及地带性变化等进行研究,以期完善宁夏山地土壤的系统分类提供一定的参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区包括贺兰山山地与六盘山山地,二者是宁夏回族自治区境内主要的山地类型区。其中,贺兰山山地地处宁夏西北门户(105°49'~106°41'E, 38°19'~39°22'N),位于银川平原与阿拉善高原之间,处于荒漠草原向荒漠过渡地带,森林覆盖率约70%。贺兰山山地的气候类型有明显的山地特征,采集自贺兰山山地的5个供试剖面分布于惠农区、平罗县和贺兰县,年均气温8.73~9.85℃,年均降水量约420mm,年均蒸发量约2000mm<sup>[13]</sup>。贺兰山主要的植被类型为山地草原和旱生灌丛,受气候和海拔等因素的影响,呈现出一定的垂直分异特征,从发生分类的角度看土壤类型也呈现垂直地带性分布特征。六盘山山地位于宁夏南部(105°30'~106°30'E, 34°30'~36°30'N),地处宁夏、甘肃、陕西三省交界地带,处于干旱草原向森林草原过渡的地带<sup>[14]</sup>,森林覆盖率达80%以上。六盘山山地年气温变化范围为-21.8℃~15.7℃,年均气温2.87℃~6.23℃,年降水量范围为536.4~687.5mm,年均蒸发量1425mm<sup>[15]</sup>,植被主要为温带针叶林、落叶阔叶林等。

### 1.2 样品采集与处理

本研究从宁夏土系调查工作采集的123个样点中,选取10个发育在贺兰山、六盘山山地的样点作为研究对象。利用目的性采样和传统采样相结合的方法进行样点布设<sup>[16-17]</sup>,选择与土壤类型具有协同变化关系的环境因子,利用模糊聚类,获取环境因子组合类的典型部位作为待选采样位置,最后结合宁夏省级土壤图、土地利用现状图、行政区划等图件以及历史土壤调查资料,利用ArcGIS技术对选取的采样位置进一步筛选,确定最终采样点<sup>[18]</sup>。研究对象的选取充分考虑到山地土壤研究

的典型性及代表性。

野外首先利用GPS对样点进行定位,获取土壤的成土环境信息,随后按照野外调查手册挖掘剖面、合理划分层次并对剖面形态信息进行描述与记载,最后,自下而上分层采集土壤样品供实验室分析化验。供试样点的成土环境参考表1,其中编号为3、11、13、14、108的5个供试土壤采集自宁夏西北贺兰山山地,编号为73、82、119、120、121的5个供试土壤采集自宁夏南部六盘山山地,受采集条件和宁夏山地管理条件的限制,贺兰山山地采集土壤海拔不高于1700m,六盘山山地海拔不高于2500m。

### 1.3 样品、数据的分析处理

在实验室将分层采集的土壤样品进行风干,剔除植物根系等,四分法进行土壤样品制备以供测试。土壤基本理化指标的测试包括机械组成、pH、碳酸钙、有机碳、全氮、有效磷及矿物组成等。土壤颗粒组成采用吸管法测定,pH采用pH计(土水比1:2.5)测定,碳酸钙采用气量法进行测定,有机碳采用油浴重铬酸钾—外加加热法测定,全氮采用浓硫酸消煮—凯氏定氮法测定,有效磷采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定,分析方法主要参照《土壤调查实验室分析方法》<sup>[19]</sup>和《土壤农化分析》<sup>[20]</sup>。此外,土壤矿物组成及黏土矿物含量测定采用X射线衍射分析法,土壤矿物组成及黏土矿物含量测定样品为供试剖面心土层或表土层土样。

供试剖面的形态和发育特征分析是根据剖面采集过程中获取的成土环境信息及土壤样品的测试数据,按照《野外土壤描述与采样规范》来进行,利用Microsoft Excel、ArcGIS 10.1对获取数据进行分析处理。

## 2 结果

### 2.1 供试土壤的剖面形态特征

供试土壤剖面各层次色调相同,明度、彩度略有差异,从表层到底层土壤颜色逐渐变浅。从土壤形成环境来看,发育于贺兰山山地的供试土壤海拔高度均低于发育于六盘山山地的土壤剖面(表1)。海拔条件影响土壤腐殖质的积累程度<sup>[21]</sup>。总体而言,发育在贺兰山山地的供试剖面土壤颜色

表 1 供试土壤的成土环境  
Table 1 Soil forming environment of the tested soils

剖面编号 Profile No.	剖面地点 Profile location	土类 (发生分类) Soil group (soil genetic classification)	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔 Altitude/m	地形 Terrain	母质 Parent material
3	惠农区园艺镇葡萄泉子 Putaoquanzi Village, Yuanyi Township, Huinong District	石质土 Lithosols	106°39'23"E.3"	39°17'9"N"	1291	平坦 <sup>①</sup>	洪积物 <sup>④</sup>
11	平罗县崇岗镇一堆 Yidui Village, Chonggang Township, Pingluo County	粗骨土 Skeletal soils	106°10'9.1"E	39°00'23"N	1557	起伏 <sup>②</sup>	砂岩坡积物 <sup>⑤</sup>
13	贺兰县镇北堡镇水渠沟圈 Shuiqougouan Village, Zhenbeipu Township, Helan County	灰褐土 Gary-cinnamon soils	105°57'21.5"E	38°38'23.2"N	1338	平坦 <sup>①</sup>	洪积物 <sup>④</sup>
14	贺兰县镇北堡镇红柳沟村 Hongliugou Village, Zhenbeipu Township, Helan County	新积土 Neo-alluvial soils	106°06'31.5"E	38°43'8"N	1136	平坦 <sup>①</sup>	河流冲积物 <sup>⑥</sup>
108	贺兰县滚钟口风景区 Gunzhongkou Scenic Spot, Helan County	灰褐土 Gary-cinnamon soils	105°55'42"E	38°36'28"N	1650	陡峭切割 <sup>③</sup>	花岗岩、片麻岩坡积物 <sup>⑦</sup>
73	西吉县火石寨乡九条沟 Jiutiaogou Village, Huoshizhai Township, Xiji County	黑垆土 Black loessial soils	105°46'37.8"E	36°6'39.5"N	2132	起伏 <sup>②</sup>	紫色砂岩风化物 <sup>⑧</sup>
82	原州区张易镇盘龙坡村 Panlongpo Village, Zhangyi Township, Yuanzhou District	山地草甸土 Mountain meadow soils	106°06'34.5"E	35°48'41.4"N	2125	起伏 <sup>②</sup>	黄土状母质 <sup>⑨</sup>
119	六盘山国家森林公园 Liupanshan National Forest Park	灰褐土 Gary-cinnamon soils	106°20'11"E	35°22'55"N	2240	陡峭切割 <sup>③</sup>	页岩残积物 <sup>⑩</sup>
120	泾源县绿源林场 Lüyuan Forest Farm, Jingyuan County	亚高山草甸土 Dark felty soils	106°12'36"E	35°44'11"N	2460	陡峭切割 <sup>③</sup>	页岩残积物 <sup>⑩</sup>
121	泾源县绿源林场 Lüyuan Forest Farm, Jingyuan County	山地草甸土 Mountain meadow soils	106°13'12"E	35°44'35"N	2330	陡峭切割 <sup>③</sup>	页岩残积物 <sup>⑩</sup>

①Flat, ②Undulating, ③Steep cliff, ④Alluvial material, ⑤Sandstone slope sediments, ⑥Alluvial material, ⑦Granite and gneiss diluvium, ⑧Weathered purple sandstone, ⑨Loess like parent material, ⑩Shale saprolite

较浅、以棕色为主,其中发育在海拔1 650 m的滚钟口景区的典型土壤其腐殖质积累量大于另外4个剖面,腐殖质层颜色较深呈现暗棕色;而发育在六盘山山地的剖面较贺兰山山地的剖面土壤颜色深,以暗棕色为主,其中发育在海拔高度2 460 m的120号剖面腐殖质层深厚,约95 cm,剖面颜色呈现黑棕色。

受南北气候条件差异和样点采集时间的影响,发育于贺兰山山地的剖面土体干湿状况表现为干或润两种状况,发育于六盘山山地的土体干湿状况以润为主。上述供试剖面均有一定土壤结构的发育,受土壤水分交替变化的影响,供试土壤发育的土壤结构包括团块状、团粒状和棱块状结构等。其中,发育程度是表征土壤结构机械稳定度的指标,供试土壤的土壤结构发育状况介于弱或中等,随着剖面深度增加,土壤结构发育程度减弱,部分剖面底层无土壤结构的发育。

此外,剖面11、13、73、82土体内部可见含量不等的碳酸钙结核;剖面73、82、119号有弱黏粒胶膜的发育,含量很少;120号剖面发育海拔高、水分条件好,土体底部滞水发生氧化还原过程,因而可见少量铁锰锈斑的发育。发育在海拔2 300 m以上六盘山山地的120、121号剖面由于海拔高、淋溶条件好导致碳酸盐淋洗完全,通体无石灰反应,其他剖面土体均有不同程度的石灰反应。

## 2.2 供试土壤的颗粒组成

据全国第二次土壤普查数据,供试土壤在发生分类系统下的土类有石质土、粗骨土、灰褐土、新积土、黑垆土、山地草甸土和亚高山草甸土(表1)。结合表3数据可知,总的来看,供试剖面土层质地较为均一,发育于贺兰山山地的3、11、13、14和108号等5个土壤剖面较六盘山山地的73、82、119、120、121号土壤剖面质地粗,这主要取决于成土母质的土壤颗粒组成并受植被等成土因素的影响<sup>[22]</sup>。洪积母质、坡积母质相较黄土状母质、页岩残积物发育的土壤颗粒组成成粗。此外,六盘山山地森林覆盖率高于贺兰山山地,其植被以针叶林、阔叶林为主,较贺兰山山地发育的荒漠草原和低矮灌丛植被能更好地涵养水源、保持水土、抵抗侵蚀,而贺兰山山地位于腾格里沙漠边缘,风大沙多、侵蚀严重,也是导致土壤质地较粗的原因。供试土壤黏化率变化范围介于0.16~3.00,由供试

剖面的形态特征分析可知,剖面73、82、119号土体中部均有微弱黏粒胶膜的发育,结合颗粒组成数据82号剖面B/A黏粒含量大于1.3,由此推断82号剖面可能有黏化层的发育。

## 2.3 供试土壤的酸碱度

由表2数据可知,供试土壤pH范围介于6.19~8.90,变化范围较大<sup>[23]</sup>,随着海拔高度的升高,碱性逐渐减弱甚至表现弱酸性。其中,贺兰山山地土壤pH变化介于8.14~8.90,若参考《中国土壤》中对我国土壤酸碱度的分级标准,则贺兰山山地土壤均处于pH>7.5的I级,呈碱性;六盘山山地土壤酸碱度变异范围大,pH变化值介于6.19~8.43,土壤酸碱度介于Ⅲ级、Ⅱ级、I级,呈现偏酸性、偏碱性和碱性。土壤pH或受成土环境的生物气候条件的影响,据国家气象局提供的宁夏气象数据显示,宁夏范围内年均降水量呈南高北低的规律递变,且随海拔升高,降水量逐渐增多。六盘山山地位于宁夏南部,地势海拔高,碳酸盐被淋洗甚至完全淋洗,使剖面土壤pH较西北部贺兰山山地土壤pH低。

## 2.4 供试土壤的养分特征

供试样点土壤养分指标的测试对于宁夏土壤地力研究具有重要意义。其中,土壤有机碳含量是表征土壤养分含量的重要指标,也是计算土壤有机碳库储量的重要依据<sup>[24-26]</sup>。由表2可知,贺兰山山地供试土壤表层有机碳含量变化范围介于3.62~22.00 g·kg<sup>-1</sup>,六盘山山地供试土壤表层有机碳含量变化范围介于8.82~55.85 g·kg<sup>-1</sup>,受成土环境条件的影响,贺兰山山地供试土壤表层有机碳平均含量为11.39 g·kg<sup>-1</sup>低于六盘山山地供试土壤表层有机碳平均含量22.52 g·kg<sup>-1</sup>。此外,供试剖面有机碳随剖面深度增加含量递减,均具有表聚性<sup>[27]</sup>。供试土壤无机碳含量波动较大,介于4.3~152.0 g·kg<sup>-1</sup>,这主要受成土母质中碳酸盐含量多寡的影响,且与土壤淋溶过程的强度有关。供试土壤全氮含量随剖面深度增加而降低,含量介于0.15~4.28 g·kg<sup>-1</sup>,两大山地土壤全氮含量的差异规律与土壤有机碳规律一致。供试土壤有效磷含量变化范围介于0.10~24.83 g·kg<sup>-1</sup>,其中南部高海拔的六盘山山地供试土壤的有效磷含量较西北部贺兰山山地高。120号剖面发育的海拔高度最高,腐殖质层厚度约95 cm,其中土壤各养分指标含量在供

表2 供试样点的基本化学性质

Table 2 Basic chemical properties of the tested profiles

剖面编号 Profile No.	层次 Soil layers/cm	土壤酸碱度 pH	CaCO <sub>3</sub> /(g·kg <sup>-1</sup> )	有机碳 SOC/(g·kg <sup>-1</sup> )	全氮 TN/(g·kg <sup>-1</sup> )	碳氮比 C/N	有效磷 AP/(mg·kg <sup>-1</sup> )	游离氧化铁 Fe <sub>d</sub> /(g·kg <sup>-1</sup> )	全铁 Fe <sub>t</sub> /(g·kg <sup>-1</sup> )	Rh <sup>1)</sup>
3	0~15	8.49	40.2	14.00	1.34	10.41	2.84	4.31	28.50	—
11	0~30	8.40	16.6	9.13	0.66	13.93	1.94	5.20	33.80	—
13	0~20 20~90	8.37 8.82	49.6 69.0	8.22 6.01	0.64 0.41	12.94 14.67	2.73 2.73	4.49 4.92	32.80 32.10	0.25
14	0~45 45~	8.90 8.54	8.7 4.3	3.62 5.15	0.38 0.37	9.53 13.97	4.50 6.46	0.77 1.98	20.10 23.50	—
108	0~25 25~35	8.07 8.14	37.0 21.2	22.00 17.89	1.92 1.50	11.44 11.89	6.87 4.75	9.09 8.28	32.90 40.70	—
73	0~30 30~65	8.21 8.14	91.8 112.0	10.87 4.07	0.94 0.40	11.58 10.29	0.10 0.10	6.76 7.44	36.10 36.30	0.42
82	65~90 0~50 50~110	8.35 8.43 8.28	101.0 151.0 146.0	1.44 9.61 6.31	0.15 0.93 0.66	9.55 10.30 9.56	0.28 1.10 0.72	8.34 2.65 2.72	40.20 30.40 31.00	0.23
119	110~ 0~28 28~80 80~125	8.32 7.28 7.66 7.54	152.0 22.1 17.3 20.8	2.36 8.82 6.48 5.77	0.34 0.88 0.66 0.63	6.93 9.97 9.85 9.12	0.24 12.86 4.75 9.00	5.73 12.60 12.90 12.19	29.20 37.04 40.56 38.07	0.24
120	125~ 0~30 30~95	7.57 6.31 6.19	19.6 25.4 26.6	4.40 55.85 40.16	0.48 4.28 3.19	9.23 13.05 12.57	19.03 24.83 14.79	12.90 12.18 12.72	43.62 38.79 35.79	0.23
121	95~ 0~20	6.86 6.73	17.1 20.9	8.42 27.44	0.74 2.25	11.37 12.17	3.40 10.54	10.83 12.35	39.15 37.95	—

注：1)Rh表示土表至20 cm与土表至100 cm的腐殖质储量比，若在50~100 cm之间出现石质或准石质接触面，则按照比例(1/5)计算，不足50 cm不做计算

Note: 1)Rh stands for ratio of humus in the 0~20 cm and 0~100 cm soil layers, if a lithic or paralithic contact surface appears in the layer between 50~100 cm, the ratio will be calculated proportionally as 1/5, and if a lithic or paralithic contact surface appears in the layer between 0~50 cm, no calculation would be done

试土壤的养分指标含量中均为最大值,这与该点高海拔、气温低、降水多以及生物活动弱等因素利于养分的积累有关<sup>[28]</sup>。

供试土壤游离氧化铁的含量介于1.77~12.90 g·kg<sup>-1</sup>,全铁含量介于20.10~43.62 g·kg<sup>-1</sup>,随剖面深度增加表现出一定的富集趋势。此外,随海拔的增大,供试土壤铁的游离度、活化度呈递增趋势。其中,发育在六盘山山地的119、120、121号剖面游离氧化铁、活性铁和全铁含量明显较其他剖面高,且120号剖面土体底部有明显的铁锰锈斑,据表2数据可知上述三个剖面石灰反应呈现轻度或无石灰反应发生,剖面pH范围为6.19~7.66,可能是因为高海拔、降水多的成土条件促进了土体碳酸盐的淋洗,从而对铁的活化和富集产生影响。腐殖质储量比作为诊断土壤是否存在均腐殖质特性的重要指标<sup>[29]</sup>,对于土壤系统分类有重要意义,供试

剖面腐殖质储量比变化范围为0.23~0.42。

## 2.5 供试土壤的诊断特征与高级单元划分

综合上述土壤发育的形态特征和理化性状的分析结果,依据《中国土壤系统分类检索(第三版)》<sup>[29]</sup>,对10个供试土壤的诊断特征进行鉴定和检索,为确定供试土壤在中国土壤系统分类中对应的高级分类单元归属奠定基础。

由表3可知,供试土壤的部分诊断特征有明显的南北分异性,发育在六盘山山地的供试土壤水分状况好于贺兰山山地的供试土壤,5个供试土壤均呈湿润土壤水分状况,而贺兰山山地的供试土壤则呈干旱或半湿润土壤水分状况<sup>[30]</sup>;发育在西北部贺兰山山地的土壤为温性状况,而发育在南部六盘山山地的土壤则为冷性状况<sup>[31]</sup>。此外,暗沃表层、淡薄表层的检索出现南北分异与上文土壤有机碳的南北分异规律吻合。

表3 供试土壤的诊断层和诊断特性

Table 3 Diagnostic horizons and their characteristics of the studied soils

剖面 编号	暗沃 表层	淡薄 表层	雏形层	黏化层	钙积 现象	准石质 接触面	土壤水分 状况	土壤温度 状况	石灰性	均腐殖质 特性	氧化还 原特征
Profile No.	Mollic epipedon	Ochric epipedon	Cambic horizon	Agric horizon	Calcic evidence	Paralithic contact	Soil moisture regime	Temperature regime	Calcareousness	Isohumic property	Redox features
3		√					干旱 <sup>①</sup>	温性 <sup>④</sup>	√		
11		√					干旱 <sup>①</sup>	温性 <sup>④</sup>	√		
13		√	√				半湿润 <sup>②</sup>	温性 <sup>④</sup>	√	√	
14		√	√				半湿润 <sup>②</sup>	温性 <sup>④</sup>	√		
108	√		√			√	半湿润 <sup>②</sup>	温性 <sup>④</sup>	√		
73	√		√		√		湿润 <sup>③</sup>	冷性 <sup>⑤</sup>	√		
82		√		√			湿润 <sup>③</sup>	冷性 <sup>⑤</sup>	√	√	
119	√		√				湿润 <sup>③</sup>	冷性 <sup>⑤</sup>	√	√	√
120	√		√				湿润 <sup>③</sup>	冷性 <sup>⑤</sup>	√	√	√
121	√		√			√	湿润 <sup>③</sup>	冷性 <sup>⑤</sup>			

①Aridic, ②Ustic, ③Udic, ④Mesic, ⑤Frigid

根据供试土壤的诊断特征(表3),10个供试土壤的高级单元可归属为新成土、雏形土、淋溶土和均腐土等4个土纲,正常新成土、干润雏形土、湿润雏形土、冷凉淋溶土、湿润均腐土等5个亚纲,各供试剖面在中国土壤系统分类高级分类单元的归属依次为:3号剖面 and 11号剖面属于

石灰干旱正常新成土、13号剖面 and 14号剖面属于普通筒育干润雏形土、108号剖面属于普通暗沃干润雏形土、73号剖面 and 121号剖面属于暗沃冷凉湿润雏形土、82号剖面属于普通筒育冷凉淋溶土、119号剖面 and 120号剖面属于斑纹筒育湿润均腐土。

## 2.6 供试土壤的土族特征与基层分类单元划分

矿质土壤颗粒大小级别是中国土壤系统分类基层分类单元土族划分的首要依据<sup>[5]</sup>。结合供试土壤的颗粒大小、土体岩石碎屑的统计情况，对各供试土壤的颗粒大小级别进行鉴定得到粗骨砂质、砂质、壤质-砂质、壤质、砂质-粗骨砂质等5种类型（表4）。

土壤矿物组成、土壤颗粒大小级别共同影响的土壤的矿物学类型是土族划分的重要依据。依据文献<sup>[5]</sup>，结合国家地质检测中心出具的供试土壤矿物组成的测试结果，对供试土壤的矿物学类型进行检索得到硅质混合型、长石型和长石混合型等3种类型（表4）。供试土壤的土族特征与基层分类单元归属如表4所示。

按照《中国土壤系统分类土族与土系划分标准》可将10个样点的供试土壤续分为10个土族，包括粗骨砂质硅质混合型温性—石灰干旱正常新成土，粗骨砂质长石型温性—石灰干旱正常新成土，壤质长石混合型石灰性冷性—普通筒育冷凉淋溶土，砂质硅质混合型非酸性冷性—斑纹筒育湿润均腐土等。10个供试剖面在土族完全分异，因此进一步续分为10个土系，包括葡萄泉系、一堆系、滚钟口系、六盘山公园系、绿源腰系等10个土系。

## 3 讨 论

### 3.1 宁夏山地土壤的发育特征及地带性分布规律

山地土壤占宁夏土壤面积的11.9%，贺兰山地和六盘山山地是宁夏山地土壤的主要分布区。随着山地海拔高度的抬升，生物气候条件也发生相应的变化，因此，山地土壤的分布具有垂直地带性规律<sup>[14]</sup>。据全国第二次土壤普查形成的《宁夏土壤》可知，宁夏山地土壤自下而上垂直地带性分布依次为灰钙土/黑垆土/黄绵土、灰褐土、亚高山草甸土，粗骨土在浅山有所分布。结合表1供试土壤的成土环境分析可知，10个供试土壤的分布与宁夏土壤地带性分布规律基本相符。

综合前文的性质分析，可知宁夏山地土壤的发育特征自下而上的变化规律为：腐殖质积累过程逐渐明显，腐殖质层加厚，土体颜色由黄棕色逐渐加深为黑棕色；土体淋溶过程加剧，土体石灰反应逐渐减弱直至消失，发育于低海拔位置的山地土壤土体内有明显的碳酸钙假菌丝体的淀积，海拔升高，

碳酸钙逐渐淋溶完全；土壤水分条件逐渐改善，其中处于高海拔位置的山地土壤土体底部有氧化还原反应的发生，形成铁子和铁锰胶膜；土壤pH逐渐减小，土壤酸碱性等级发生变化，土壤碱性逐渐减弱甚至表现非酸性。结合表3供试土壤的诊断依据从中国土壤系统分类的角度来看，受成土环境和成土因素的作用，供试土壤的诊断表层随海拔高度的抬升由淡薄表层演变为暗沃表层；土壤水分状况经干旱/半干旱土壤水分状况向湿润土壤水分状况演化；土壤温度状况由温性土壤温度状况变为冷性状况，有一定的垂直分异规律。

### 3.2 关于系统分类增设暗沃正常新成土土类及亚类的建议

系统分类是一个不断探索完善的过程<sup>[32-33]</sup>，虽然我国土壤系统分类工作已经取得阶段性进展，但尚不能完全满足土壤资源信息系统建设和其他学科应用的需要，仍需要不断的修订和完善。由上文可知，10个供试土壤按照现行2001年出版的《中国土壤系统分类（第三版）》可归属为4个土纲，5个亚纲，6个土类，6个亚类。其中，将11号剖面归为石灰干旱正常新成土、73号剖面为暗沃冷凉湿润锥形土、120号剖面为斑纹筒育湿润均腐土、121号剖面为暗沃冷凉湿润锥形土，其中73号剖面与121号剖面分类单元相同。

采集自泾源县绿源林场的120号和121号两个剖面，分别位于山顶和山腰。山顶发育的120号剖面土体腐殖质层深厚，土壤颜色呈现黑色/黑棕色，厚度可达95 cm以上，发育有暗沃表层、锥形层，土体有均腐殖质特性，95 cm以下受滞水氧化还原作用的影响出现少量铁锰锈斑，土体表现氧化还原特征；山腰发育的121号剖面土体表层颜色呈现暗棕色，暗沃表层厚度达30 cm，土体40 cm以下出现准石质接触面，如图1所示。因此，在鉴定土壤均腐殖质特性时，121号剖面不满足有效土层的厚度要求，因而剖面构型不同的120号和121号剖面在土纲级别上有分异。

参考图1所显示的供试土壤剖面形态特征可知，73号剖面与121号剖面同属暗沃冷凉湿润锥形土，而剖面构型大相径庭，笔者认为依据现行分类将73号与121号剖面归为同一亚类的分类不够合理。参考图1剖面形态特征，将121号剖面与11号剖面对比来看，土体颜色差异明显，表征土壤腐殖

表4 供试土壤的土族特征与基层分类检索结果

Table 4 Soil family characteristics and basic level classification of the studied soils

剖面编号 Profile No.	颗粒大小级别 <sup>①</sup>	矿物学类型 <sup>②</sup>	石灰性和酸碱反应类别 <sup>③</sup>	土壤温度等级 <sup>④</sup>	土族 Soil family	土系 Soil series
3	粗骨砂质 <sup>⑤</sup>	硅质混合型 <sup>⑥</sup>	—	温性 <sup>⑦</sup>	粗骨砂质硅质混合型温性—石灰干旱正常新成土 Coarse bone sandysilica mixture mesic-Calcaric Aridi-Orthic Primosols	葡萄泉系 Putaoquan series
11	粗骨砂质 <sup>⑤</sup>	长石型 <sup>⑧</sup>	—	温性 <sup>⑦</sup>	粗骨砂质长石型温性—石灰干旱正常新成土 Coarse bone sandyfeldspar typical mesic-Calcaric Aridi-Orthic Primosols	—堆系 Yidui series
13	砂质 <sup>⑥</sup>	长石混合型 <sup>⑨</sup>	石灰性 <sup>⑩</sup>	温性 <sup>⑦</sup>	砂质长石混合型石灰性温性—普通筒育干润雏形土 Sandyfeldspar mixture calcareous mesic-Typic Hapli-Ustic Cambosols	水渠沟圈系 Shuiqougouquan series
14	砂质 <sup>⑥</sup>	硅质混合型 <sup>⑩</sup>	石灰性 <sup>⑩</sup>	温性 <sup>⑦</sup>	砂质硅质混合型石灰性温性—普通筒育干润雏形土 Sandysilica mixture calcareous mesic-Typic Hapli-Ustic Cambosols	红柳沟系 Hongliugou series
108	砂质 <sup>⑥</sup>	硅质混合型 <sup>⑩</sup>	石灰性 <sup>⑩</sup>	温性 <sup>⑦</sup>	砂质硅质混合型石灰性温性—普通暗沃干润雏形土 Sandysilica mixture calcareous mesic-Typic Molli-Ustic Cambosols	滚钟口系 Gunzhongkou series
73	壤质-砂质 <sup>⑦</sup>	长石混合型 <sup>⑩</sup>	石灰性 <sup>⑩</sup>	冷性 <sup>⑧</sup>	壤质-砂质长石混合型石灰性冷性—暗沃冷凉湿润雏形土 Loamy-Sandyfeldspar mixture calcareous frigid-Mollic Bori-Udic Cambosols	九条沟系 Jiutiaogou series
82	壤质 <sup>⑧</sup>	长石混合型 <sup>⑩</sup>	石灰性 <sup>⑩</sup>	冷性 <sup>⑧</sup>	壤质长石混合型石灰性冷性—普通筒育冷凉淋溶土 Loamyfeldspar mixture calcareous frigid-Typic Hapli-Boric Argosols	盘龙坡系 Panlongpo series
119	砂质 <sup>⑥</sup>	硅质混合型 <sup>⑩</sup>	石灰性 <sup>⑩</sup>	冷性 <sup>⑧</sup>	砂质硅质混合型石灰性冷性—斑纹筒育湿润均腐土 Sandysilica mixture calcareous frigid-Mottlic Hapli-Udic Isohumosols	六盘山公园系 Liupanshan park series
120	砂质 <sup>⑥</sup>	硅质混合型 <sup>⑩</sup>	非酸性 <sup>⑪</sup>	冷性 <sup>⑧</sup>	砂质硅质混合型非酸性冷性—斑纹筒育湿润均腐土 Sandysilica mixture non-acid frigid-Mottlic Hapli-Udic Isohumosols	绿源顶系 Lvnyuanding series
121	砂质—粗骨砂质 <sup>⑨</sup>	硅质混合型 <sup>⑩</sup>	非酸性 <sup>⑪</sup>	冷性 <sup>⑧</sup>	砂质—粗骨砂质硅质混合型非酸性冷性—暗沃冷凉湿润雏形土 Sandy-coarse bone sandy Sandysilica mixture non-acid frigid-Mollic Bori-Udic Cambosols	绿源腰系 Lvnyuanyao series

①Particle size level, ②Mineralogical tupe, ③ Type of calcareous and acid reaction, ④ Soil temperature grade, ⑤Coarse bone sandy, ⑥Sandy, ⑦Loamy-sandy, ⑧Loamy, ⑨Sandy-coarse bone sandy, ⑩Silica mixture type, ⑪Feldspar type, ⑫Feldspar mixture type, ⑬Calcareousness, ⑭Non-acid ic, ⑮Mesic, ⑯Frigid



质含量差异，土体准石质接触面出现深度不同，相较于将73号和121号剖面归为同一土纲、亚纲的现行分类，笔者认为11号与121号剖面特征更为相似，因此笔者建议将11号与121号剖面归为同一土纲——新成土。依据现行土壤系统分类，新成土土纲中无法找到符合剖面121号特征归属的土类，而以121号剖面特征为代表的土壤，在宁夏、河北等地土系调查工作中均屡有发现，其土体母质特征明显，上覆厚30~50 cm的暗沃表层，土体构型

为A-C型。因此笔者建议在正常新成土亚纲中增设：暗沃正常新成土，对于建议增设亚类的检索位置<sup>[9]</sup>，笔者认为应分别位于N4.1黄土正常新成土之前，即列于正常新成土亚纲下检索土类的第一次序，对于暗沃正常新成土土类的检索，则可依次序为石质暗沃正常新成土、石灰暗沃正常新成土和普通暗沃正常新成土，如下所示。若按笔者建议进行增设，剖面121号亚类当归属为石质暗沃正常新成土。

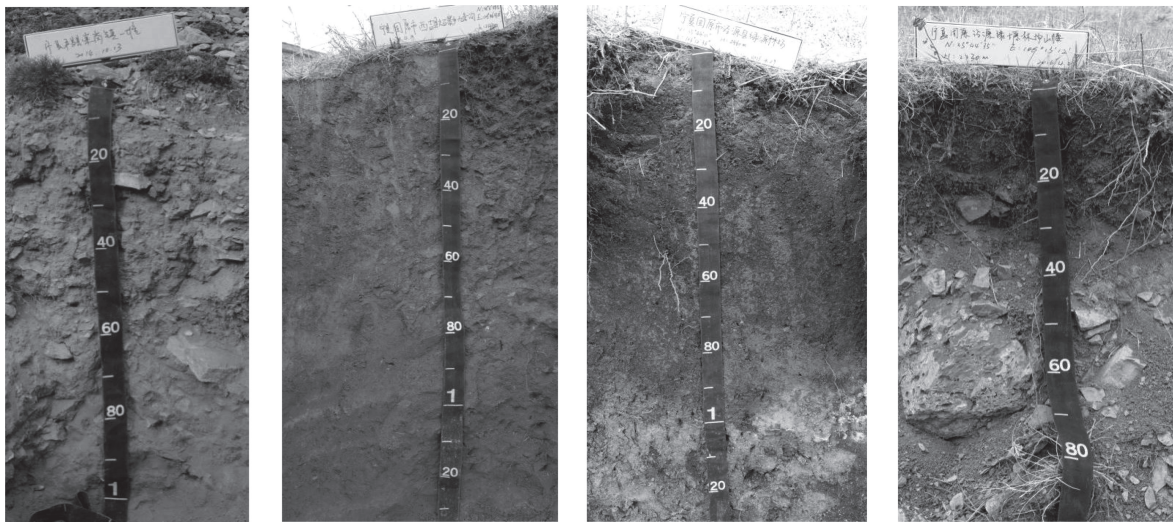


图1 编号为11、73、120、121的供试土壤剖面形态特征

Fig. 1 Morphological characteristics of Profile 11, 73, 120 and 121

此外，锥形土与新成土土纲的界限应该更加具体，对于新成土土纲的检索指标应该更加明确、细化，确保在进行土壤系统分类工作时更加定量化、标准化，减少模糊分类状况的发生。

#### N4.1 暗沃正常新成土 亚类的检索

N4.1.1 暗沃正常新成土中在矿质土表至50 cm范围内有石质接触面，或无石质接触面，但在该深度范围内有一半以上土层 $\geq 2$  mm的砾岩或岩屑 $\geq 70\%$ （按体积计）。

石质暗沃正常新成土

N4.1.2 其他暗沃正常新成土中有石灰性。

石灰暗沃正常新成土

N4.1.3 其他暗沃正常新成土。

普通暗沃正常新成土

### 3.3 修订系统分类土族划分指标——土壤矿物学类型的建议

在野外土系调查和土壤考察工作中，土壤调查工作者针对所挖掘的土壤剖面，在描述其形态特征的同时也会结合剖面发育的成土环境进行土壤分类的高级单元以及基层单元土族的初判。前文提到，土壤的矿物学指标是土族划分的重要依据，土壤矿物学类型的划分需要依据控制层段内土壤颗粒大小级别和土壤矿物组成加以确定。土壤颗粒大小级别主要依据岩石碎屑含量和土壤颗粒组成判别，经验丰富的野外土壤调查工作者具备土壤质地的野外判别方法，因此该指标对土族的野外初判影响不大。而土壤矿物组成则很难在野外进行定量分析，只能粗略估计。我国土壤系统分类基层单元土族的划分不仅是土壤分类高级单元的补充，兼有为土地利用和评价服务的目的，而土壤矿物学指标划分土族尚

未显示出为生产服务的功能,不利于实地指导农业利用。此外,该指标检索时忽略了强对比颗粒大小级别对应的土壤矿物学类型的检索,因此建议专家组重新考虑这一指标。

在宁夏土系调查过程中,野外调查工作者挖掘到许多异源母质发育的土壤,但在土壤分类中尚未体现异源母质对土壤利用的影响,建议工作组是否可以考虑用母质类型的均一型/混合型替代土壤的矿物学类型,这既减少了野外判别的难度,也有利于指导农业生产利用和土壤改良,可以充分体现土族划分的功能性。

## 4 结 论

总体而言,宁夏山地土壤的发育特征随海拔自下而上的变化规律为:腐殖质积累过程逐渐明显;土体淋溶过程加剧,土体石灰反应逐渐减弱直至消失;土壤水分条件改善,处于高海拔位置的山地土壤土体底部有氧化还原反应的发生;土壤pH逐渐减小,土壤碱性逐渐减弱甚至表现非酸性。受成土环境和成土因素的作用,土壤发育规律在诊断特征上的反映为随海拔高度的抬升呈现一定的垂直分异规律,其中诊断表层由淡薄表层演变为暗沃表层;土壤水分状况经干旱/半干旱土壤水分状况向湿润土壤水分状况演化;土壤温度状况由温性土壤温度状况变为冷性状况。

从中国土壤系统分类的角度来看,依据现行分类发育在宁夏山地的10个供试土壤高级单元归属为新成土、雏形土、淋溶土和均腐土等4个土纲,正常新成土、干润雏形土、湿润雏形土、冷凉淋溶土、湿润均腐土等5个亚纲,干旱正常新成土、筒育干润雏形土、暗沃干润雏形土、冷凉湿润雏形土、筒育冷凉淋溶土、斑纹湿润均腐土等6个土类,石灰干旱正常新成土、普通筒育干润雏形土、普通暗沃干润雏形土、暗沃冷凉湿润雏形土、普通筒育冷凉淋溶土、斑纹筒育湿润均腐土等6个亚类,续分为10个土族,包括粗骨砂质硅质混合型温性—石灰干旱正常新成土,粗骨砂质长石型温性—石灰干旱正常新成土,壤质长石混合型石灰性冷性—普通筒育冷凉淋溶土,砂质硅质混合型非酸性冷性—斑纹筒育湿润均腐土等,10个供试剖面在土族完全分异,因而续分为10个土系,包括葡萄泉

系、一堆系、滚钟口系、六盘山公园系、绿塬腰系等10个土系。此外,中国土壤系统分类是一个不断探索完善的过程,以满足土壤资源信息系统建设和其他学科应用的需要。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 龚子同,张甘霖,陈志诚,等.以中国土壤系统分类为基础的土壤参比.土壤通报,2002,33(1):1—5  
Gong Z T, Zhang G L, Chen Z C, et al. Soil reference on the bases of Chinese Soil Taxonomy (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2002, 33(1): 1—5
- [ 2 ] 史学正,于东升,孙维侠,等.中美土壤分类系统的参比基准研究:土类与美国系统分类土纲间的参比.科学通报,2004,49(13):1299—1303  
Shi X Z, Yu D S, Sun W X, et al. Reference standard study on soil classification system in China and America: Comparison between soil group and soil class of American Soil Taxonomy (In Chinese). Chinese Science Bulletin, 2004, 49(13): 1299—1303
- [ 3 ] 鞠兵,吴克宁,李玲,等.河南省典型土系的特定土层特征与分类研究.土壤学报,2016,53(1):48—57  
Ju B, Wu K N, Li L, et al. Characteristic horizons and classification of soil series typical of Henan Province (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2016, 53(1): 48—57
- [ 4 ] 安红艳,龙怀玉,刘颖,等.承德市坝上高原典型土壤的系统分类研究.土壤学报,2013,50(3):448—458  
An H Y, Long H Y, Liu Y, et al. Taxonomic classification of the typical soils on Bashang Plateau of Chengde (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2013, 50(3): 448—458
- [ 5 ] 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.土壤学报,2013,50(4):827—834  
Zhang G L, Wang Q B, Zhang F R, et al. Criteria for establishment of soil family and soil series in Chinese Soil Taxonomy (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2013, 50(4): 827—834
- [ 6 ] 鞠兵,吴克宁,李玲,等.河南省典型淋溶土土系划分研究.土壤学报,2015,52(1):40—48  
Ju B, Wu K N, Li L, et al. Classification of typical Argosols of Henan Province at soil series level of Chinese Soil Taxonomy (In Chinese). Acta

- Pedologica Sinica, 2015, 52 (1): 40—48
- [ 7 ] 李军, 龙怀玉, 张杨珠, 等. 冀北地区盐碱化土壤系统分类的归属研究. 土壤学报, 2013, 50 (6): 1071—1081  
Li J, Long H Y, Zhang Y Z, et al. Attribution of salt-affected soils in North Hebei in Chinese Soil Taxonomy (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2013, 50 (6): 1071—1081
- [ 8 ] 张佩佩, 武红旗, 贾宏涛, 等. 新疆砂质新成土的野外调查初步研究. 土壤通报, 2016, 47 (3): 513—517  
Zhang P P, Wu H Q, Jia H T, et al. Preliminary study on field survey of Sandic Primosols in Xinjiang (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2016, 47 (3): 513—517
- [ 9 ] 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. 土壤学报, 2017, 54 (5): 1102—1114  
Wu K N, Gao X C, Cha L S, et al. Soil taxonomy of artificial soils containing artifacts typical of Henan Province (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2017, 54 (5): 1102—1114
- [ 10 ] 姜林, 耿增超, 张雯, 等. 宁夏贺兰山、六盘山典型森林类型土壤主要肥力特征. 生态学报, 2013, 33 (6): 1982—1993  
Jiang L, Geng Z C, Zhang W, et al. Soil fertility under forest types in the Helan and Liupan Mountain ranges of Ningxia Province (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2013, 33 (6): 1982—1993
- [ 11 ] 张秀珍, 刘秉儒, 詹仁仁. 宁夏境内12种主要土壤类型分布区域与剖面特征. 宁夏农林科技, 2011, 52 (9): 48—50  
Zhang X Z, Liu B R, Zhan S R. Distribution area and profile property of 12 main soil types in Ningxia (In Chinese). Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2011, 52 (9): 48—50
- [ 12 ] 马琨, 马斌, 何宪平, 等. 宁夏南部山区不同土地类型土壤养分的分布特征研究. 农业科学研究, 2006, 27 (2): 1—5  
Ma K, Ma B, He X P, et al. Research of the distribution of soil nutrient in different land patterns on the Loess Plateau of south Ningxia (In Chinese). Journal of Agricultural Sciences, 2006, 27 (2): 1—5
- [ 13 ] 刘秉儒, 张秀珍, 胡天华, 等. 贺兰山不同海拔典型植被带土壤微生物多样性. 生态学报, 2013, 33 (22): 7211—7220  
Liu B R, Zhang X Z, Hu T H, et al. Soil microbial diversity under typical vegetation zones along an elevation gradient in Helan Mountains (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2013, 33 (22): 7211—7220
- [ 14 ] 王吉智. 宁夏土壤. 银川: 宁夏人民出版社, 1990  
Wang J Z. Ningxia soil (In Chinese). Yinchuan: Ningxia People's Press, 1990
- [ 15 ] 黄琳琦, 向业凤, 魏孝荣, 等. 六盘山林区土壤物理性质分布特征. 干旱地区农业研究, 2015, 33 (1): 60—65  
Huang L Q, Xiang Y F, Wei X R, et al. Distribution of soil physical properties in forest of Liupan Mountains (In Chinese). Agricultural Research in the Arid Areas, 2015, 33 (1): 60—65
- [ 16 ] 杨琳, 朱阿兴, 秦承志, 等. 基于典型点的目的性采样设计方法及其在土壤制图中的应用. 地理科学进展, 2010, 29 (3): 279—286  
Yang L, Zhu A X, Qin C Z, et al. A Purposive sampling design method based on typical points and its application in soil mapping (In Chinese). Progress in Geography, 2010, 29 (3): 279—286
- [ 17 ] 杨琳, 朱阿兴, 秦承志, 等. 一种基于样点代表性等级的土壤采样设计方法. 土壤学报, 2011, 48 (5): 938—946  
Yang L, Zhu A X, Qin C Z, et al. A soil sampling method based on representativeness grade of sampling points (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2011, 48 (5): 938—946
- [ 18 ] 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. 土壤学报, 2017, 54 (5): 1102—1114  
Qu X L, Long H Y, Xie P, et al. Pedogenesis and taxonomy of anthropogenic-alluvial soil in the Ningxia Yellow River Irrigation Zone (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2017, 54 (5): 1102—1114
- [ 19 ] 张甘霖, 龚子同. 土壤调查实验室分析方法. 北京: 科学出版社, 2012  
Zhang G L, Gong Z T. Soil survey laboratory methods (In Chinese). Beijing: Science Press, 2012
- [ 20 ] 鲍士旦. 土壤农化分析. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 2000  
Bao S D. Soil agrochemistry analysis (In Chinese). 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000
- [ 21 ] 丁咸庆, 马慧静, 朱晓龙, 等. 大围山不同海拔森林土壤有机碳垂直分布特征. 水土保持学报, 2015, 29 (2): 258—262  
Ding X Q, Ma H J, Zhu X L, et al. The vertical distribution characteristics of soil organic carbon in different altitude of Dawei Mountain (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 29

- (2): 258—262
- [22] 郭彦彪, 戴军, 冯宏, 等. 土壤质地三角图的规范制作及自动查询. 土壤学报, 2013, 50 (6): 1221—1225  
Guo Y B, Dai J, Feng H, et al. Standard mapping of soil textural triangle and automatic query of soil texture classes (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50 (6): 1221—1225
- [23] 全国土壤普查办公室. 中国土壤. 北京: 中国农业出版社, 1998  
The Office of Chinese Soil General Survey. *Soils of China* (In Chinese). Beijing: Chinese Agriculture Press, 1998
- [24] 郭洋, 李香兰, 王秀君, 等. 干旱半干旱区农田土壤碳垂直剖面分布特征研究. 土壤学报, 2016, 53 (6): 1433—1443  
Guo Y, Li X L, Wang X J, et al. Profile Distribution of soil inorganic and organic carbon in farmland in arid and semi-arid areas of China (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2016, 53 (6): 1433—1443
- [25] 张忠启, 于法展, 于东升, 等. 红壤区土壤有机碳时间变异及合理采样点数量研究. 土壤学报, 2016, 53 (4): 891—900  
Zhang Z Q, Yu F Z, Yu D S, et al. Temporal variability of soil organic carbon and rational sample size in red soil region (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2016, 53 (4): 891—900
- [26] Hobley E, Wilson B, Wilkie A, et al. Drivers of soil organic carbon storage and vertical distribution in Eastern Australia. *Plant and Soil*, 2015, 390 (1/2): 111—127
- [27] Hobley E, Willgoose G R, Frisia S, et al. Environmental and site factors controlling the vertical distribution and radiocarbon ages of organic carbon in a sandy soil. *Biology and Fertility of Soils*, 2013, 49 (8): 1015—1026
- [28] Cao X H, Long H Y, Lei Q L, et al. Spatio-temporal variations in organic carbon density and carbon sequestration potential in the topsoil of Hebei Province, China. *Journal of Integrative Agriculture*, 2016, 15 (11): 2627—2638
- [29] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类组, 中国土壤系统分类课题协作组. 中国土壤系统分类检索. 第3版. 合肥: 中国科技大学出版社, 2001  
Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. *Keys to Chinese Soil Taxonomic Classification* (In Chinese). 3rd ed. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2001
- [30] 孟猛, 倪健, 张治国, 等. 地理生态学的干燥度指数及其应用评述. 植物生态学报, 2004, 28 (6): 853—861  
Meng M, Ni J, Zhang Z G, et al. A review on dryness index of geoecology and its application (In Chinese). *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28 (6): 853—861
- [31] 韩春兰, 余无忌, 刘金宝, 等. 中国年均地温的估算方法研究. 土壤学报, 2017, 54 (2): 354—366  
Han C L, Yu W J, Liu J B, et al. Methods for estimation of mean annual soil temperature in China (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2017, 54 (2): 354—366
- [32] Soil Survey Staff. *Keys to Soil Taxonomy*. 12th ed. U. S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, 2014
- [33] 袁大刚, 张甘霖. 美国土壤系统分类最新修订. 土壤, 2005, 37 (2): 136—139  
Yuan D G, Zhang G L. Updating of Soil Taxonomy (In Chinese). *Soils*, 2005, 37 (2): 136—139

## Development Rules and Taxonomy of the Soil in Helan and Liupan Mountains of Ningxia Province

QU Xiaolin<sup>1,2</sup> LONG Huaiyu<sup>1†</sup> CAO Xianghui<sup>1</sup> XIE Ping<sup>1</sup>

(1 *Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China*)

(2 *Cultivated Land Quality Monitoring and Protection Center, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125, China*)

**Abstract** 【Objective】 In order to comprehensively understand how the soils in the Helan and Liupan Mountains of Ningxia Province were developed and should be classified in soil taxonomy, a total of 10 soil profiles were selected out of the typical ones dug and prepared during the Soil Series Survey

of Ningxia Province, 5 (Profile 3, 11, 13, 14 and 108) in the Helan Mountain and 5 (Profile 73, 82, 119, 120 and 121) in the Liupan Mountain area, for the study. 【 Method 】 Firstly, locations of the 10 soil profiles were defined with the aid of ArcGIS and GPS; the profiles re-prepared for examination with soil-forming environment and profile morphology described and documented; and then soil samples collected from each soil layer of the profiles for analysis of physicochemical properties. 【 Result 】 Based on the morphological characteristics and soil physicochemical properties of the 10 profiles, attempts were made to elucidate soil development features and determine niches in soil taxonomy. Results show that in the Chinese Soil Taxonomy, the 10 soil profiles could tentatively be sorted into the four soil orders, i.e. Primosols, Cambosols, Argosols and Isohumosols, five soil suborders, i.e. Orthic Primosols, Ustic Cambosols, Udic Cambosols, Boric Argosols and Udic Isohumosols, and six soil subgroups, i.e. Calcaric Aridi-Orthic Primosols, Typic Hapli-Ustic Cambosols, Typic Molli-Ustic Cambosols, Mollic Bori-Udic Cambosols, Typic Hapli-Boric Argosols, and Mottlic Hapli-Udic Isohumosols. Further on, they could tentatively be sorted into 10 soil families, i.e. Coarse bone sandsilica mixture mesic-Calcaric Aridi-Orthic Primosols, Coarse bone sandyfeldspar typical mesic-Calcaric Aridi-Orthic Primosols, Sandyfeldspar mixturecalcareous frigid-Mollic Bori-Udic Cambosols, Sandysilica mixture calcareous frigid-Mottlic Hapli-Udic Isohumosols, which are completely separated ones, and still further into 10 soil series, including Putaoquan series, Yidui series, Gunzhongkou series, Liupanshan park series, Lvyuanyao series, etc. 【 Conclusion 】 Altitude is the major factor affecting development characteristics of the soils in the mountains of Ningxia. With rising altitude the soils show apparent humus accumulation processes, intensifying leaching processes through the solums, weakening lime reaction till nil, and improving soil moisture regime. At the bottoms of the solums of the mountain soils high in altitude, weak redox reaction occurs, forming iron and/or iron-manganese colloids and reducing soil pH, thus causing certain changes in soil acidity and alkalinity. Affected by the soil forming environment and factors, soil development rules are reflected in the diagnostic horizons as a certain vertical variation rule along the altitude. The diagnostic surface horizons have their mollic epipedons turned into ochric epipedons, their soil moisture regimes from aridic/ustic into udic, and their soil temperature regimes from mesic into frigid.

**Key words** Mountain soils of Ningxia; Zonality; Developmental characteristics; Diagnostic basis; Chinese Soil Taxonomy

(责任编辑：檀满枝)