

DOI: 10.11766/trxb202003090579

郭梦, 吴克宁, 鞠兵, 武红旗. 新疆天山南麓土壤系统分类研究[J]. 土壤学报, 2021, 58(3): 588–598.

GUO Meng, WU Kening, JU Bing, Wu Hongqi. Taxonomy of Soils in South Piedmont of the Tianshan Mountain in Xinjiang[J]. Acta Pedologica Sinica, 2021, 58(3): 588–598.

## 新疆天山南麓土壤系统分类研究\*

郭梦<sup>1</sup>, 吴克宁<sup>1, 2†</sup>, 鞠兵<sup>3</sup>, 武红旗<sup>4</sup>

(1. 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083; 2. 自然资源部土地整治重点实验室, 北京 100035; 3. 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 4. 新疆农业大学草业与环境科学学院, 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 为了解新疆天山南麓土壤的成土特点和系统分类归属, 研究区共挖掘出 8 个典型土壤剖面, 通过剖面形态观测和分层取样分析, 发现新疆天山南麓的主要成土过程符合海拔变化且变化过程为原始成土过程-有机质聚积过程-潜育化过程-熟化过程-盐积过程。根据《中国土壤系统分类检索(第三版)》检索发现 8 个典型剖面随海拔变化在天山南麓至塔里木盆地边缘呈现出了雏形土-潜育土-人为土-雏形土-干旱土的变化特征, 检索结果包括 4 个土纲、6 个亚纲、7 个土类、7 个亚类、8 个土族和 8 个土系。将典型剖面在中国土壤系统分类与发生分类、美国土壤系统分类和世界土壤资源参比基础中的位置进行对比发现, 中国土壤系统分类更加强调中国土壤特点, 提出了具有中国特色的土壤类型。

**关键词:** 新疆; 天山南麓; 诊断层; 诊断特性; 中国土壤系统分类

**中图分类号:** S155.3      **文献标志码:** A

## Taxonomy of Soils in South Piedmont of the Tianshan Mountain in Xinjiang

GUO Meng<sup>1</sup>, WU Kening<sup>1, 2†</sup>, JU Bing<sup>3</sup>, Wu Hongqi<sup>4</sup>

(1. School of Land Science and Technology, China University of Geoscience, Beijing, 100083, China; 2. Key Laboratory of Land Consolidation, Ministry of Natural Resources, Beijing 100035, China; 3. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 4. College of Grassland and Environment Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** This paper was oriented to explore soil formation characteristics and classification by soil taxonomy of the soils at the south piedmont of the Tianshan Mountains in Xinjiang. A total of 8 typical soil profiles were prepared in the study area. Through profile observation and stratified sampling analysis, it was found that soil formation of the soils in the area changed in process with elevation, exhibiting a sequence of original soil forming process, organic matter accumulating process, latenzating process, maturing process and salt accumulating process. According to the “Chinese Soil Taxonomy (Third Edition)”, the soils of the eight typical profiles changed with elevation from Cambosols to Gleysols, Anthrosols, Cambosols and Aridosols from the southern foot of the Tianshan Mountains to the edge of the Tarim Basin. In line with the Taxonomy, the soils could be sorted into 4 order, 6 suborder, 7 group, 7 subgroup, 8 soil family and 8 soil series. By reference to the “Chinese Soil Taxonomy”, “Chinese Soil

\* 国家科技基础性工作专项(2014FY110200A03)资助 Supported by the Special Project of National Science and Technology Basic Research (No.2014FY110200 A03)

† 通讯作者 Corresponding author, wukening@cugb.edu.cn

作者简介: 郭梦(1994—)女, 河南固始人, 硕士研究生, 主要从事土壤分类研究。E-mail:1533612715@qq.com

收稿日期: 2020-03-09; 收到修改稿日期: 2020-06-29; 网络首发日期(www.cnki.net): 2020-09-03

Genetic Classification”, “USA Soil Taxonomy”, and “World Soil Resources Reference Base”, ascription of the 8 typical soil profiles shows that the “Chinese Soil Taxonomy” puts more emphasis on characteristics of the soils in China, and hence brings forward some China-specific soil types.

**Key words:** Xinjiang; South of the Tianshan; Diagnostic horizons; Diagnostic characteristics; Chinese Soil Taxonomy

新疆维吾尔自治区位于中国西北边境，地处中纬度亚欧大陆腹地，以其典型的大陆性气候闻名于世。在新疆众多山地中，天山位于新疆中部，极大地影响了新疆南北的气候分布，由于其雄伟壮观，天山的南坡和北坡气候呈现明显的垂直地带性分布规律<sup>[1]</sup>。周霞和陈东景<sup>[2]</sup>通过研究将天山南坡划分为五个垂直气候带。作为一个重要的地形因素，海拔通过改变气候环境，从而影响土壤的发生和发育，从而对土壤性状、物理化学性质等产生重要影响<sup>[3]</sup>。马国飞等<sup>[4]</sup>发现天山南坡台兰河上游草地土壤各物理性状与海拔之间存在显著相关性。何晓玲等<sup>[5]</sup>将天山北麓丘陵地带土壤划分为 3 个土纲、4 个土类。刘立诚<sup>[6]</sup>通过研究发现天山北坡雪岭云杉林下的灰褐色森林土与褐色土相似，而与一般褐色土有所区别的温带干旱区土壤垂直带谱中一特殊类型。关欣等<sup>[7]</sup>探讨了南疆平原典型荒漠样区耕种土壤的系统分类。作为土壤形成的条件和因素，气候、生物、地形、母质等均在不同方面，随着时间的推移影响土壤的形成和发生。而土壤作为生态环境的重要组成部分，其类型特征对于调节区域生态系统甚至农业、经济发展具有重要作用<sup>[8]</sup>。因此，本研究试图在前人对天山土壤研究的基础上探寻天山南麓土壤类型随海拔变化的规律，补充前人对天山南坡土壤研究的不足。此外近年来不断有学者开始研究新疆地区的土壤系统分类，但是大部分集中在高级分类单元的划分，很少有关于基层分类单元的划分，而且关于天山南麓土壤分类的最新研究比较少。本文通过选取 8 个典型的剖面，研究随着海拔变化，天山南麓成土过程的变化和系统分类的归属问题，以进一步完善对于天山南麓的系统分类研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

新疆地区一般划分为北疆和南疆。本文的研究区域位于南疆地区，南疆地处内陆、中纬度亚欧大

陆腹地，远距海洋，四周以高山环绕，地貌高差明显，因而受海洋气流影响较小，属于典型的温带大陆性干旱气候，其特点是冬天酷冷、夏天干热、冷热变化特别明显、气温日差较大、干燥无雨、晴天较多、光热丰富、风多并强、气候垂直运动明显。从地貌总体特征上看，南疆北部以天山为界，南部则以昆仑山为界，两山之间是塔里木盆地，故呈现出“两山夹一盆”的特征。该地区地形起伏多变，地质地貌条件复杂，成土母质类型繁多。山区以残积物、坡积物分布最广，部分山地迎风坡尚有黄土分布。平原地区的成土母质则主要为洪积物、冲积物、砂质风积物和各种黄土状沉积物。在古老灌溉绿洲内，分布有灌溉淤积物，此外，尚有湖积物、冰碛物等<sup>[9]</sup>。

### 1.2 样品采集与分析

根据南疆地区成土环境因素的特征和代表性土壤类型，本文选取天山南麓至塔里木盆地边缘 8 个代表性的土壤剖面作为研究对象，具体位置见图 1，成土环境条件参见表 1。本研究的野外调查结合不同海拔高度选择不同的土壤观测点。

在野外首先借助 GPS 进行定位，再挖掘剖面，按野外土壤调查与采样规范进行描述，包括土壤颜色、土壤结构、土壤发育程度、干湿状态、结持性、新生体等，并对石灰反应、pH 进行现场速测<sup>[10]</sup>，按发生学层次自下而上进行土壤样品的采集。土壤基本物理化学性质的指标测试包括颗粒组成、pH、有机质、碳酸钙、碱解氮、速效磷和电导率等，分析方法依据《土壤调查实验室分析方法》<sup>[11]</sup>和《土壤农化分析》<sup>[12]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤的剖面形态特征及机械组成

8 个典型剖面特征和颗粒组成见表 2。土壤剖面颜色以黄色为主，颜色相对较浅，所有剖面的色调均为 2.5Y，明度主要为 5~8，彩度主要为 1~6。

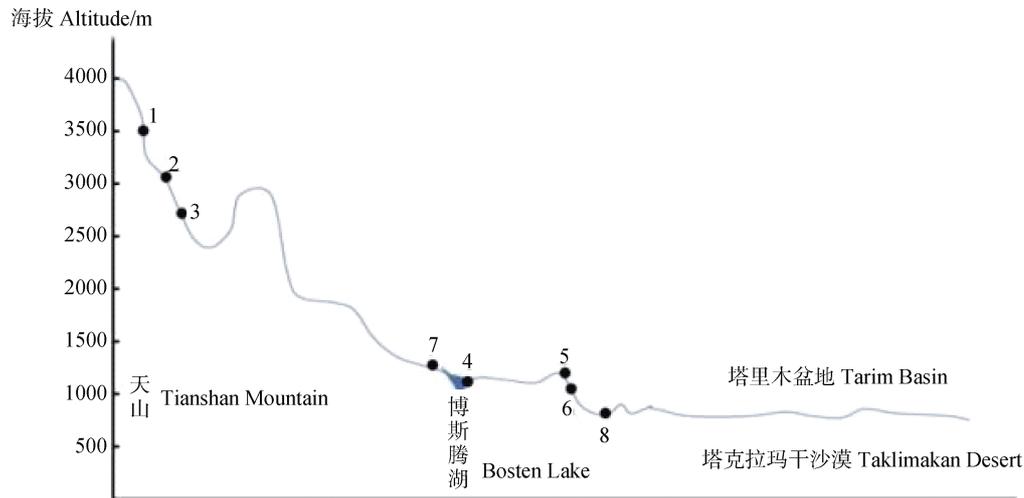


图 1 样点分布的地理位置

Fig. 1 Geographical locations of the profiles

表 1 土壤的成土环境

Table 1 Soil forming environment of the studied soils

剖面编号 Profile No.	剖面地点 Profile location	经纬度 Longitude and Latitude	海拔 Elevation/m	地形 Terrain	植被 Vegetation	成土母质 Parent material
1	和静县古龙沟乡 Gulonggou Township, Hejing Country	43°5'17"N 86°3'14"E	3 500	高山 (大于 3000 m)	高山草原	坡积物母质 Slope deposit
2	和静县克尔古提乡 Keerguti Township, Hejing Country	42°53'44"N 86°54'24"E	3 089	中山 (800~ 3000 m)	高山草原	坡积物母质 Slope deposit
3	和静县 Hejing County	43°6'10"N 85°23'43"E	2 726	山麓平原	高山草原	坡积物母质 Slope deposit
4	博湖县 Bohu County	42°9'47"N 86°44'30"E	1 040	湖滩	沼泽地	河流沉积物母质 Fluvial deposit
5	焉耆县新疆农二师 24 团 8 连 Yanqi County, Xinjiang Agricultural Second Division 24 Group 8 even	42°16'43"N 86°41'21"E	1 055	冲积平原	-	冲积物母质 Alluvial deposit
6	焉耆县四十里城子乡 Sihilichengzi Township, Yanqi Country	41°58'24"N 86°24'30"E	1 046	冲积平原	-	冲积物母质 Alluvial deposit
7	焉耆县 Yanqi County	42°15'7"N 86°2'6"E	1 204	冲积平原	-	冲积物母质 Alluvial deposit
8	尉犁县塔里木乡 Talimu Township, Yuli Country	41°14'31"N 86°22'11"E	870	冲积平原	荒漠灌木	冲积物母质 Alluvial deposit

表 2 剖面特征和颗粒组成

Table 2 Profile characteristics and particle size composition of the studied soils

剖面编号 Profile No.	深度 Depth/cm	颜色 Color	土壤结构 Soil structure	颗粒组成 Mechanical composition/ (g·kg <sup>-1</sup> )			土壤质地 Soil texture	粉黏比 Silt/Clay	石灰反应 Lime reaction
				2~0.05	0.05~0.002	<0.002			
1	0~21	2.5Y 7/3	粒状 <sup>①</sup>	735.4	258.5	6.1	壤质砂土 <sup>⑦</sup>	42.38	轻度 <sup>□</sup>
	21~44	2.5Y 8/3	粒状 <sup>①</sup>	142.4	572.3	285.3	粉质黏壤 <sup>⑧</sup>	2.01	中度 <sup>□</sup>
	44~82	2.5Y 7/3	块状 <sup>②</sup>	205.4	525.7	268.9	粉壤土 <sup>⑨</sup>	1.96	中度 <sup>□</sup>
2	0~12	2.5Y 6/3	团块状 <sup>③</sup>	347.5	463.6	188.9	壤土 <sup>⑩</sup>	2.45	强 <sup>□</sup>
	12~35	2.5Y 7/3	块状 <sup>②</sup>	71.7	642.3	286	粉质黏壤 <sup>⑧</sup>	2.25	强 <sup>□</sup>
	35~58	2.5Y 8/3	块状 <sup>②</sup>	131.3	698.8	169.9	粉壤土 <sup>⑨</sup>	4.11	极强 <sup>□</sup>
	58~92	2.5Y 8/4	块状 <sup>②</sup>	284.1	378.5	337.4	黏壤土 <sup>□</sup>	1.12	中度 <sup>□</sup>
	92~140	2.5Y 8/4	块状 <sup>②</sup>	511.1	256.4	232.5	砂质黏壤 <sup>□</sup>	1.10	中度 <sup>□</sup>
	0~12	2.5Y 4/4	团块状 <sup>③</sup>	98.8	825.7	75.5	粉壤土 <sup>⑨</sup>	4.66	中度 <sup>□</sup>
3	12~32	2.5Y 4/6	块状 <sup>②</sup>	73.1	782.9	144	粉土 <sup>□</sup>	10.94	中度 <sup>□</sup>
	32~70	2.5Y 7/3	块状 <sup>②</sup>	491.8	363.1	145.1	粉壤土 <sup>⑨</sup>	5.44	强 <sup>□</sup>
	70~105	2.5Y 7/3	块状 <sup>②</sup>	-	-	-	壤土 <sup>⑩</sup>	2.50	强 <sup>□</sup>
	105~130	2.5Y 8/3	屑粒状 <sup>④</sup>	-	-	-	砂土 <sup>□</sup>	0.60	中度 <sup>□</sup>
4	0~11	2.5Y 7/1	块状 <sup>②</sup>	205.7	662	132.3	粉壤土 <sup>⑨</sup>	5.00	强 <sup>□</sup>
	11~28	2.5Y 7/1	块状 <sup>②</sup>	343.9	361.5	294.6	黏壤土 <sup>□</sup>	1.23	强 <sup>□</sup>
	28~50	2.5Y 6/1	块状 <sup>②</sup>	449.1	210.9	340	黏壤土 <sup>□</sup>	0.62	强 <sup>□</sup>
	50~67	2.5Y 5/1	块状 <sup>②</sup>	510.5	199.8	289.7	砂质黏壤 <sup>□</sup>	0.69	强 <sup>□</sup>
	67~80	2.5Y 7/1	粒状 <sup>①</sup>	-	-	-	砂土 <sup>□</sup>	-	轻度 <sup>□</sup>
5	0~13	2.5Y 8/2	块状 <sup>②</sup>	888.8	41.7	69.5	粉壤土 <sup>⑨</sup>	2.60	中度 <sup>□</sup>
	13~47	2.5Y 8/2	块状 <sup>②</sup>	53.7	683.4	262.9	粉壤土 <sup>⑨</sup>	5.17	强 <sup>□</sup>
	47~68	2.5Y 8/3	块状 <sup>②</sup>	42.2	802.5	155.3	粉壤土 <sup>⑨</sup>	5.22	中度 <sup>□</sup>
	68~130	2.5Y 8/3	块状 <sup>②</sup>	128.8	731.2	140	粉壤土 <sup>⑨</sup>	5.89	强 <sup>□</sup>
	0~12	2.5Y 6/2	团块状 <sup>③</sup>	254.7	515.2	230.1	粉壤土 <sup>⑨</sup>	2.24	强 <sup>□</sup>
6	12~31	2.5Y 7/2	团块状 <sup>③</sup>	364.8	453.3	181.9	壤土 <sup>⑩</sup>	2.49	强 <sup>□</sup>
	31~64	2.5Y 7/1	鳞片状 <sup>⑤</sup>	351.2	456	192.8	壤土 <sup>⑩</sup>	2.37	中度 <sup>□</sup>
	64~89	2.5Y 7/1	块状 <sup>②</sup>	354.7	399.7	245.6	壤土 <sup>⑩</sup>	1.63	中度 <sup>□</sup>
	89~130	2.5Y 8/2	块状 <sup>②</sup>	231.6	520.4	248	粉壤土 <sup>⑨</sup>	2.10	强 <sup>□</sup>
7	0~15	2.5Y 8/2	团块状 <sup>③</sup>	328.1	514.2	157.7	粉壤土 <sup>⑨</sup>	3.26	强 <sup>□</sup>
	15~40	2.5Y 6/3	团块状 <sup>③</sup>	192.7	560	247.3	粉壤土 <sup>⑨</sup>	2.26	强 <sup>□</sup>
	40~60	2.5Y 7/3	块状 <sup>②</sup>	591.4	187.3	221.3	砂质黏壤 <sup>□</sup>	0.85	强 <sup>□</sup>
	60~100	2.5Y 7/3	块状 <sup>②</sup>	534	305.4	160.6	砂质壤土 <sup>□</sup>	1.90	强 <sup>□</sup>
8	0~12	2.5Y 5/3	粒状 <sup>①</sup>	311.7	199.9	488.4	黏土 <sup>□</sup>	0.41	强 <sup>□</sup>
	12~23	2.5Y 7/2	粒状 <sup>①</sup>	615.7	283.1	101.2	砂质壤土 <sup>□</sup>	2.80	强 <sup>□</sup>
	23~44	2.5Y 7/2	块状 <sup>②</sup>	611	255.1	133.9	砂质壤土 <sup>□</sup>	1.91	中度 <sup>□</sup>
	44~86	2.5Y 7/3	片状 <sup>⑥</sup>	434	528.3	37.7	粉壤土 <sup>⑨</sup>	14.01	中度 <sup>□</sup>
	86~125	2.5Y 7/2	块状 <sup>②</sup>	720.4	220.1	59.5	砂质壤土 <sup>□</sup>	3.70	轻度 <sup>□</sup>

① Granular structure, ② Blocky structure, ③ Crumb structure, ④ Crumb, ⑤ Scaly structure, ⑥ Platy structure, ⑦ Loamy sand, ⑧ Silty clay loam, ⑨ Silt loam, ⑩ Loam, ⑪ Clay loam, ⑫ Sandy clay loam, ⑬ Silt, ⑭ Sand, ⑮ Sandy loam, ⑯ Clay, ⑰ Mild calcareous, ⑱ Moderate calcareous, ⑲ Highly calcareous, ⑳ Strongly calcareous

剖面颜色较均匀,不同层次间差异很小。除剖面 1 和 4 外,其余剖面土层厚度较深,可达 120 cm 左右,剖面 1 因所在海拔较高,土层厚度较浅。剖面 4 因其地下水位较高,土层厚度较浅。

土壤结构主要为块状、粒状、团块状。土壤质地主要为壤土,土壤颗粒组成总体上来看,砂粒含量由天山至塔里木盆地边缘呈现先减后增的趋势。原因是在天山高海拔处土壤风化程度较低,随着海拔降低,风化程度逐渐加强,至塔里木盆地边缘临近沙漠,土壤砂粒含量增加。

## 2.2 土壤的基本化学性质

8 个典型剖面的有关化学性质见表 3。天山南坡地区在高山草甸下发育的土壤,表层有机质积累较多,随着海拔的降低,表层有机质含量减少<sup>[13]</sup>。此外,表层有机质含量明显高于下层,这是由于有机质在剖面各层次间的分布非常不均匀造成的。

8 个典型剖面的 pH 均超过 7,呈碱性。碳酸钙

含量在不同剖面之间有较大差异。剖面 5 碳酸钙含量明显高于其他 7 个剖面,碳酸钙含量最高为 436.6 g·kg<sup>-1</sup>,这可能与人为耕作产生的灌溉淤积物碳酸盐含量高有关。除剖面 5 外,剖面 6、7 表层土壤的碳酸钙含量偏高可能也与此有关。剖面 1 由于其海拔较高,剖面内碳酸钙含量从上至下呈现出递减的趋势。其余各剖面各层次间呈现无规则变化。

除 1 号剖面外,有效磷含量具有表聚性,且随剖面深度的增加有效磷含量略有下降。剖面 5 表层有效磷含量最高,为 57.42 mg·kg<sup>-1</sup>,剖面 7 表层含量最低,仅为 8.029 mg·kg<sup>-1</sup>。各剖面碱解氮含量有较明显差异,变化范围在 2.106~118.4 mg·kg<sup>-1</sup>之间,但在单个土体内表现出由土体中上部向下部递减的趋势。

电导率对研究盐渍化程度、土壤基本化学性质和肥力质量特征具有重要指导意义<sup>[14-17]</sup>。从表中数据可知,各剖面间电导率差异明显,剖面 2、剖面 4、剖面 5、剖面 8 电导率最高,其余剖面电导率接近。

表 3 土壤化学性质

Table 3 Chemical properties of the studied soils

剖面编号	深度	有机质		碳酸钙	碱解氮	有效磷	电导率
Profile No.	Depth/cm	OM	pH	CaCO <sub>3</sub>	AN	AP	EC
		/ (g·kg <sup>-1</sup> )		/ (g·kg <sup>-1</sup> )	/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	/ (us·cm <sup>-1</sup> )
1	0~21	58.91	8.49	177.6	76.78	9.049	464.4
	21~44	16.78	7.60	140.0	25.99	9.813	302.4
	44~82	11.63	8.85	101.7	10.07	10.15	361.3
2	0~12	56.08	7.80	107.5	48.74	18.06	511.8
	12~35	21.71	8.46	29.86	71.40	10.58	4 524
	35~58	17.63	8.74	60.96	54.30	11.94	3 669
	58~92	6.16	8.92	166.4	23.35	8.256	1 857
3	92~140	8.79	9.14	26.43	9.461	9.162	726.2
	0~12	67.30	8.60	123.8	118.4	10.41	778.6
	12~32	39.14	8.52	-	86.69	7.519	444.3
	32~70	16.43	8.63	-	52.48	7.972	370.2
	70~105	9.42	8.76	-	16.18	6.700	-
	105~130	6.71	8.74	-	16.78	8.709	-
4	0~11	37.30	8.94	162.6	26.49	11.71	11.05
	11~28	30.14	8.61	170.6	12.66	7.774	4 317
	28~50	13.54	8.64	166.8	12.08	8.369	3 448
	50~67	9.32	8.93	140.2	17.51	10.07	3 552
	67~80	-	-	-	-	-	-

续表

剖面编号 Profile No.	深度 Depth/cm	有机质		碳酸钙	碱解氮	有效磷	电导率
		OM / (g·kg <sup>-1</sup> )	pH	CaCO <sub>3</sub> / (g·kg <sup>-1</sup> )	AN / (mg·kg <sup>-1</sup> )	AP / (mg·kg <sup>-1</sup> )	EC / (us·cm <sup>-1</sup> )
5	0~13	16.78	8.00	323.8	64.32	57.17	1 785
	13~47	14.83	8.23	436.6	36.52	57.42	2 103
	47~68	9.67	8.07	210.8	36.41	10.92	1 709
	68~130	12.21	8.20	127.4	22.32	13.41	612.7
6	0~12	11.32	9.02	289.7	11.57	28.34	513.9
	12~31	13.00	9.16	207.3	13.44	11.77	590.3
	31~64	5.11	9.22	185.1	10.57	10.66	590.5
	64~89	17.22	8.82	167.3	9.853	9.473	869.9
7	89~130	3.98	8.94	173.1	11.19	7.179	771.4
	0~15	11.16	7.78	189.1	36.31	8.029	365.8
	15~40	11.98	8.64	160.4	41.54	6.790	289.6
	40~60	6.87	8.22	158.1	20.60	7.094	368.3
8	60~100	2.74	8.64	148.7	8.115	8.369	321.4
	0~12	35.61	8.74	174.2	25.79	14.49	73 830
	12~23	9.40	9.20	260.6	5.569	8.284	5 137
	23~44	6.52	9.07	255.5	2.106	7.802	910.6
8	44~86	5.13	9.58	271.1	5.212	7.576	1 347
	86~125	4.39	8.75	323.5	4.584	4.092	9 999

### 2.3 诊断层及诊断特性

中国土壤系统分类基于诊断层和诊断特性，具有定量化特征，能与国际的分类方案相接轨。根据《中国土壤系统分类检索（第三版）》<sup>[18]</sup>，天山南麓研究土壤剖面的诊断层和诊断特性见表 4。

**2.3.1 诊断层** (1) 诊断表层。剖面 5 满足厚度大于等于 25 cm，有机碳加权平均值大于等于 6 g·kg<sup>-1</sup>，和有效磷加权平均值大于等于 35 mg·kg<sup>-1</sup> 等肥熟表层的标准，具有肥熟表层。剖面 8 满足干旱表层的地表特征，即有沙层，从地表起，有一厚度大于等于 0.5 cm，并含不同数量气泡状孔隙的孔泡结皮层而具有干旱表层。剖面 1、3 厚度大于等于 5 cm，容重范围为 0.5~1.1 g·cm<sup>-3</sup>，且有寒性或更冷的土壤温度状况等草毡表层的标准，具有草毡表层。剖面 4 满足上部土层经常被水饱和，表层上部为耕作层，且 0~25 cm 内黏粒含量大于等于 160 g·kg<sup>-1</sup> 等有机表层的拟定标准，具有有机表层。(2) 诊断下层。剖面 1、2、3、6、7 满足规定厚度至少 5 cm，

其他土层大于等于 10 cm，细土质地多为砂壤土和粉壤土，具有土壤结构的发育，且不满足黏化层、灰化淀积层等条件，符合雏形层的诊断标准，因此具有雏形层。剖面 5 检索出肥熟表层，且厚度大于等于 10 cm，有效磷含量大于等于 18 mg·kg<sup>-1</sup>，故具有磷质耕作淀积层。(3) 其他诊断层。剖面 8 满足厚度至少为 15 cm，1:1 水土比提取液的电导率大于等于 30 ds·m<sup>-1</sup> 等盐积层的拟定标准，具有盐积层。(4) 诊断现象。剖面 5、6 具有灌淤表层的特征，但厚度为 20~50 cm，故认为有灌淤现象。

**2.3.2 诊断特性** (1) 土壤温度状况。剖面 1、3 因海拔较高土壤温度状况为寒冻土壤温度状况。剖面 2 因年平均土壤温度小于 8℃，且夏季高于寒性土壤温度状况的年平均土壤温度，属于冷性土壤温度状况。剖面 4、5、6、8 因年平均土温在 8℃~15℃之间，属于温性土壤温度状况。剖面 7 因年平均土温在 15℃~22℃之间，属于热性土壤温度状况。(2) 土壤水分状况。剖面 1 因多数年份全年各月蒸

表 4 土壤的诊断层和诊断特性

Table 4 Diagnostic horizons and diagnostic features of the studied soils

剖面编号 Profile No.	干旱 表层 <sup>①</sup>	肥熟 表层 <sup>②</sup>	草毡 表层 <sup>③</sup>	有机 表层 <sup>④</sup>	盐积 层 <sup>⑤</sup>	雏形 <sup>⑥</sup>	磷质耕作 淀积层 <sup>⑦</sup>	灌溉 现象 <sup>⑧</sup>	潜育 特征 <sup>⑨</sup>	冻融 特征 <sup>⑩</sup>	土壤水分 状况 <sup>⑪</sup>	土壤温度 状况 <sup>⑫</sup>	石灰 性 <sup>⑬</sup>	氧化还 原特征 <sup>⑭</sup>
1			√			√				√	常湿润	寒冷	√	
2						√					干旱	冷性	√	
3			√			√				√	半湿润	寒冷	√	
4				√					√		滞水	温性	√	
5		√					√	√			干旱	温性	√	
6						√		√			半湿润	温性	√	√
7						√					半湿润	热性	√	√
8	√				√						干旱	温性	√	

① Aridic epipedon, ② Fimic epipedon, ③ Mattic epipedon, ④ Histic epipedon, ⑤ Salic horizon, ⑥ Cambic horizon, ⑦ Phos-agric horizon, ⑧ Siltigic evidence, ⑨ Gleyic features, ⑩ Frost-thawic features, ⑪ Soil moisture regimes, ⑫ Soil temperature regimes, ⑬ Calcaric property, ⑭ Redox features

发量小于降水量, 土壤水分控制层段中水分张力很少达到 100 kPa, 属于常湿润土壤水分状况。剖面 2、5、8 因大多数年份 50 cm 处土壤温度大于 5℃, 土壤水分控制层段的全部每年累计一半天数是干燥的; 而且 50 cm 处土温大于 5℃, 水分控制层段某些部分或者全部连续湿润时间不超过 90d, 属于干旱土壤水分状况。剖面 3、6、7 所处地理位置虽然降雨量稀少, 但通过人为灌溉使得其土壤水分状况由干旱水分状况变为半湿润土壤水分状况。剖面 4 因地处博斯腾湖边缘, 地下水水位较高, 其上部土层在大多数年份中有相当长的湿润期, 下部土层长期被水饱和, 属于滞水土壤水分状况。(3) 潜育特征。剖面 4 下部土壤发生强烈还原, 这是由于长期被水饱和所导致。其 50% 以上的土壤基质的颜色值为: 色调为 2.5Y, 润态明度大于等于 4, 润态彩度小于等于 3, 且在土体中兼有少量铁锈斑纹, 因此可判断具有潜育特征。(4) 氧化还原特征。剖面 6 中下部可见铁锈斑纹, 剖面 7 下部可见中量铁锰斑纹缝合氧化还原特征的检索条件, 因此认为具有氧化还原特征。(5) 冻融特征。剖面 1、3 具有冻融团聚体或者水平延长的孔隙, 且有粗细颗粒的层状分选和大于 0.01 mm 粗骨颗粒的聚集等条件, 因此可判断具有冻融特征。(6) 石灰性。8 个剖面通体均具有石灰反应, 因此均具有石灰性。

## 2.4 高级分类和基层分类归属

根据上述诊断层和诊断特性, 按照《中国土壤系统分类检索(第三版)》<sup>[18]</sup>对选取的剖面进行系统分类高级分类的检索、命名, 8 个典型剖面在中国土壤系统分类中归属为 4 个土纲、6 个亚纲、7 个土类、7 个亚类。根据选取剖面的土壤控制层段内的颗粒大小级别、矿物组成、石灰性及酸碱性和土壤温度, 将供试土壤划分为 8 个土族。根据中国土壤系统分类对土系划分的要求, 属于不同土族和不同亚类的划分为不同的土系, 属于同一土族的根据土层深度及厚度、表层土壤质地和土系控制层段内岩石碎屑、结核及侵入体进行划分, 将供试土壤划分为 8 个土系, 分类名称如表 5 所示。

## 2.5 土壤分类参比

依据不同的土壤形态特征、发生过程、理化性质和土壤应用, 形成了不同的土壤分类体系, 其中美国土壤系统分类能定量化、系统化地表示土壤属性, 并且美国已经建立了 2.2 万个详细的土系, 目前仍在修订与完善中<sup>[19-20]</sup>; 世界土壤资源参比基础注重土壤类型和土壤类型制图表达, 世界土壤参比基础(WRB) 2014 版已经发布; 我国土壤分类方法主要为土壤发生学和中国土壤系统分类, 从 1984 年开始进行中国土壤系统分类研究, 通过研究和不断补充, 目前已经出版了《中国土壤系统分类检索(第三版)》<sup>[18]</sup>。

表 5 典型剖面在中国土壤系统分类中的归属

Table 5 Ascriptions of the soil profiles in the Chinese Soil Taxonomy and the Chinese Soil Genetic classification

剖面号	亚类	土族	土系
Profile No.	Subgroup	Soil family	Soil series
1	石灰草毡寒冻锥形土	粗骨壤质混合型-石灰草毡寒冻锥形土	古龙沟系
	Calcaric Matti-Gelic Cambosols	Thick Bone Loamy Mixed-Calcaric Matti-Gelic Cambosols	Gulonggou Series
2	普通冷凉湿润锥形土	壤质混合型石灰性-普通冷凉湿润锥形土	克尔古提系
	Typic Bori-Udic Cambosols	Loamy Mixed Lime-Typic Bori-Udic Cambosols	Keerguti Series
3	石灰草毡寒冻锥形土	壤质混合型-石灰草毡寒冻锥形土	和静系
	Calcaric Matti-Gelic Cambosols	Loamy Mixed-Calcaric Matti-Gelic Cambosols	Hejing Series
4	普通有机滞水潜育土	壤质混合型石灰性温性-普通有机滞水潜育土	博湖系
	Typic Histi-Stagnic Gleysols	Loamy Mixed Lime Warm-Typic Histi-Stagnic Gleysols	Bohu Series
5	灌溉肥熟旱耕人为土	壤质混合型石灰性温性-灌溉肥熟旱耕人为土	焉耆系
	Siltigic Fimi-Orthic Anthrosols	Loamy Mixed Lime Warm-Siltigic Fimi-Orthic Anthrosols	Yanqi Series
6	斑纹灌溉干润锥形土	壤质混合型石灰性温性-斑纹灌溉干润锥形土	四十里城子系
	Mottlic Siltigi-Ustic Cambosols	Loamy Mixed Lime Warm-Mottlic Siltigi-Ustic Cambosols	Sishilichengzi Series
7	石灰底锈干润锥形土	壤质混合型温性-石灰底锈干润锥形土	哈尔莫墩系
	Calcaric Endorusti-Ustic Cambosols	Loamy Mixed Warm-Calcaric Endorusti-Ustic Cambosols	Haermodun Series
8	普通盐积正常干旱土	壤质混合型石灰性温性-普通盐积正常干旱土	塔里木系
	Typic Sali-Orthic Aridosols	Loamy Mixed Lime Warm-Typic Sali-Orthic Aridosols	Talimu Series

本文选取了新疆天山南麓 8 个典型剖面, 为了土壤类型表达的多样性, 在中国土壤系统分类的基础上, 与发生学分类、美国土壤系统分类和世界土壤资源参比基础之间进行参比 (表 6), 更好地表达新疆土壤分类特征。

### 3 讨 论

#### 3.1 天山南麓土壤类型随海拔变化规律

在本次选取的研究区内, 因天山山体高大, 相对高差达到 2 000 m, 水热生物条件变化大, 加之临近绿洲受人为耕作的影响, 使得天山南麓土壤类型沿高度分异明显。天山南麓上坡高山区因其海拔较高, 降水稀少, 气温很低, 土壤发育微弱形成锥形土纲的土壤。部分亚高山草甸土具有寒冻土壤温度状况, 属于寒冻锥形土亚纲 (剖面 1、剖面 3)。随海拔降低, 土壤温度有所增加, 因临近博斯腾湖水系, 地下水水位较高, 土体下部长期被水饱和, 导致土壤发生强烈还原, 形成潜育土纲的土壤 (剖面 4)。接着因

海拔降低, 温度等气候条件达到了适合人类居住的条件, 因而出现人类耕作, 在人类长期引水灌溉的条件下, 泥沙逐渐淤积, 并经施肥、耕作等交迭作用的影响, 形成人为土纲的土壤 (剖面 5)。受到人类耕作影响的大小不满足人为土标准被划入到锥形土土纲 (剖面 2、剖面 6、剖面 7)。在天山南麓最南端因临近塔里木盆地, 降雨稀少, 气候干旱, 形成干旱土纲的土壤 (剖面 8)。

#### 3.2 不同土壤分类系统的分类对比

中国土壤系统分类与发生分类均是以发生学思想为指导, 后者是以地带性学说为基础, 以成土条件 (生物、气候等) 为依据, 具有一定的成土规律<sup>[21-22]</sup>。而前者是基于诊断层和诊断特性进行量化分类, 诊断层和诊断特性是五大成土因素综合作用的结果, 反映一定土壤形成和发育的规律<sup>[23]</sup>。

通过 8 个典型剖面不同土壤分类体系之间的对比发现, 美国土壤系统分类的最大特点是将过去惯用的发生学土层和土壤特性给予量化, 建立一系列的诊断层和诊断特征, 用其来划分鉴定土壤。世



上, 更加强调中国土壤特点, 并根据中国的实际情况提出了具有中国特色的土壤类型, 这些对今后土壤调查及土壤分类成果的交流具有促进意义。8 个典型剖面随海拔变化呈现出了雏形土-潜育土-人为土-雏形土-干旱土的变化特征, 这些剖面在中国土壤系统分类中归属为 4 个土纲、6 个亚纲、7 个土类、7 个亚类、8 个土族和 8 个土系。

### 参考文献 (References)

- [ 1 ] Zhou X. Vertical climatic difference in the middle part of northern slope of Tianshan mountains[J]. *Arid Land Geography*, 1995, 18 ( 2 ): 52—60. [周霞. 天山北坡中段气候垂直分异研究[J]. *干旱区地理*, 1995, 18 ( 2 ): 52—60.]
- [ 2 ] Zhou X, Chen D J. Study on vertical change features of climate in the southern slope of Tianshan mountains[J]. *Journal of Mountain Research*, 1998, 16 ( 1 ): 47—52. [周霞, 陈东景. 天山南坡气候垂直变化特征[J]. *山地研究*, 1998, 16 ( 1 ): 47—52.]
- [ 3 ] Xu C L. Variations in vegetation composition and nutrient characteristics related to aspect in an alpine meadow in the northeast margin of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016, 25 ( 4 ): 26—35. [徐长林. 坡向对青藏高原东北缘高寒草甸植被构成和养分特征的影响[J]. *草业学报*, 2016, 25 ( 4 ): 26—35.]
- [ 4 ] Ma G F, Mansur Sabit, Jin W G. Grassland soil physicochemical properties at different altitudes in Tailan river upstream of the southern slope of Tianshan mountain[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2017, 48 ( 3 ): 597—603. [马国飞, 满苏尔·沙比提, 靳万贵. 天山南坡台兰河上游草地土壤理化性质与海拔的关系研究[J]. *土壤通报*, 2017, 48 ( 3 ): 597—603.]
- [ 5 ] He X L, Yin L K, Yan C, et al. Genetic characteristics and taxonomy of highland soil in the north front of the central Tian Shan mountains[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37 ( 5 ): 833—836. [何晓玲, 尹林克, 严成, 等. 天山中部北麓丘陵地带土壤发生特性与系统分类[J]. *土壤通报*, 2006, 37 ( 5 ): 833—836.]
- [ 6 ] Liu L C. Preliminary Study on soil formation characteristics of snowy spruce forest in the north slope of Tianshan Mountains [J]. *Arid Zone Research*, 1985, 2 ( 2 ): 16—23. [刘立诚. 天山北坡雪岭云杉林下土壤形成特征的初步研究[J]. *干旱区研究*, 1985, 2 ( 2 ): 16—23.]
- [ 7 ] Guan X, Zhang F R, Li Q Y, et al. Substrate classification of irrigated brown desert soil in south Xinjiang[J]. *Soils*, 2003, 35 ( 1 ): 53—57, 72. [关欣, 张凤荣, 李巧云, 等. 南疆平原典型荒漠样区耕种土壤基层分类的探讨[J]. *土壤*, 2003, 35 ( 1 ): 53—57, 72.]
- [ 8 ] Huang J L, Chen J F, Chen S L. Soil division and land use in Zhangpu district, southeast Fujian[J]. *Soils*, 2001, 33 ( 1 ): 22—25. [黄金良, 陈健飞, 陈松林. 闽东南漳浦样区的土系划分与土地利用[J]. *土壤*, 2001, 33 ( 1 ): 22—25.]
- [ 9 ] Liu W H, Wu H Q, Jiang P A, et al. Characteristics of soil organic carbon change under different land covers in the north part of Tianshan mountain in 1980-2014[J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2016, 39 ( 3 ): 239—245. [刘文惠, 武红旗, 蒋平安, 等. 1980-2014 年天山北麓不同土地覆被土壤有机碳的变化特征[J]. *新疆农业大学学报*, 2016, 39 ( 3 ): 239—245.]
- [ 10 ] 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.]
- [ 11 ] Zhang G L, Gong Z T. Soil survey laboratory analysis method[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.]
- [ 12 ] Bao S D. Soil and agrochemical analysis[M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000. [鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.]
- [ 13 ] Wu Y J, Wang F Y, Zhu S X. Vertical distribution characteristics of soil organic carbon content in Caohai wetland ecosystem of Guizhou plateau, China[J]. *Journal of Forestry Research*, 2016, 27 ( 3 ): 551—556.
- [ 14 ] Chi C M, Wang Z C. Saturated hydraulic conductivity and its influence factors of saline-alkali soils[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2014, 45 ( 3 ): 601—607. [迟春明, 王志春. 碱化盐土饱和和导水率特征与影响因素研究[J]. *土壤通报*, 2014, 45 ( 3 ): 60—607.]
- [ 15 ] Liu X, Chi C M. Conversion relationship between electrical conductivities of salt-affected soil saturated paste and its extract[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2016, 55 ( 4 ): 881—883. [刘旭, 迟春明. 盐渍土饱和泥浆与其浸提液间电导率换算关系研究[J]. *湖北农业科学*, 2016, 55 ( 4 ): 881—883.]
- [ 16 ] Liu X, Chi C M. Comparison of two methods for preparing saturated leachate of saline-alkali soils[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2015, 43 ( 3 ): 298—299. [刘旭, 迟春明. 盐碱土饱和浸提液 2 种制备方法比较[J]. *江苏农业科学*, 2015, 43 ( 3 ): 298—299.]
- [ 17 ] Liu X, Chi C M. Conversion relation between conductivity of salt-affected soil saturated leaching solution and soil-water ratio of 1: 5 leaching solution in south Xinjiang[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2015, 43 ( 1 ): 289—291. [刘旭, 迟春明. 南疆盐渍土饱和浸提液与土水比 1: 5 浸提液电导率换算关系[J]. *江苏农业科学*, 2015, 43 ( 1 ): 289—291.]
- [ 18 ] Chinese Soil Taxonomy Research Group, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Cooperative

- Research Group on Chinese Soil Taxonomy. Keys to Chinese Soil Taxonomy[M]. 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[M]. 第3版. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001.]
- [ 19 ] Soil Survey Staff, USDA. Keys to soil taxonomy[M]. 12th ed. Washington: United States Government Printing Office, 2014: 1—306.
- [ 20 ] Soil Survey Staff. Keys to soil taxonomy[M]. 11th ed. Washington: Books Express Publishing, 2010: 1—346.
- [ 21 ] Huang C Y, Xu J M. Soil science[M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2010. [黄昌勇, 徐建明. 土壤学[M]. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 2010.]
- [ 22 ] Hu H X, Yu Z X, Wang J K, et al. Comparison of two kinds of soil classification systems and the prospects of soil classification[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2002, 30 ( 5 ): 670—672. [胡宏祥, 於忠祥, 汪景宽, 等. 2种土壤分类体系的比较及其展望[J]. 安徽农业科学, 2002, 30 ( 5 ): 670—672.]
- [ 23 ] Wang X L, Zhang F R, Feng T, et al. Discussion on the comparison with the classification of soil genesis, taxonomy and the pedogenesis of cinnamon soils in Beijing[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2014, 45 ( 3 ): 513—518. [王秀丽, 张凤荣, 奉婷, 等. 北京普通褐土发生分类与系统分类的对比及其发生探讨[J]. 土壤通报, 2014, 45 ( 3 ): 513—518.]
- [ 24 ] Galbraith J M. Rationale for proposed changes to soil taxonomy concerning the International Committee for anthropogenic soils[J]. Soil Horizons, 2012, 53 ( 2 ): 1—5.
- [ 25 ] Stolt M H, Needelman B A. Fundamental changes in soil taxonomy[J]. Soil Science Society of America Journal, 2015, 79 ( 4 ): 1001—1007.
- [ 26 ] Bakhshandeh E, Hossieni M, Zeraatpisheh M, et al. Land use change effects on soil quality and biological fertility: A case study in northern Iran[J]. European Journal of Soil Biology, 2019, 95: 103119.
- [ 27 ] Cui D, Li W H, Zhu C G, et al. Soil organic carbon content in relation to soil physicochemical properties under different land use types in the Yili Valley[J]. Resources Science, 2016, 38 ( 7 ): 1239—1245. [崔东, 李卫红, 朱成刚, 等. 伊犁河谷不同土地利用方式下土壤有机碳含量与土壤理化性质相关性分析[J]. 资源科学, 2016, 38 ( 7 ): 1239—1245.]
- [ 28 ] Zhang X D, Li Z, Zhang F. Soil enzyme activities and microbial characteristics under different land use patterns in Aibinur Lake region of Xinjiang[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24 ( 6 ): 91—96. [张晓东, 李忠, 张峰. 新疆艾比湖地区不同土地利用方式土壤养分、酶活性及微生物特性研究[J]. 水土保持研究, 2017, 24 ( 6 ): 91—96.]
- [ 29 ] Wan P, Hu Y B, Zhang G Q, et al. Effects of two land use types on soil nutrients of piedmont arable land in south-eastern part of Gansu Province[J]. Journal of Central South Forestry University, 2019, 39 ( 1 ): 8—14, 19. [万盼, 胡艳波, 张弓乔, 等. 2种不同土地利用方式对山麓耕地土壤养分的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2019, 39 ( 1 ): 8—14, 19.]

(责任编辑: 檀满枝)