

DOI: 10.11766/trxb201910290572

郝士横, 吴克宁, 鞠兵, 杜凯闯, 武红旗, 杨淇钧, 李晓亮. 新疆典型干旱土和盐成土的系统分类归属[J]. 土壤学报, 2021, 58 (1): 55–68.

HAO Shiheng, WU Kening, JU Bing, DU Kaichuang, WU Hongqi, YANG Qijun, LI Xiaoliang. Attribution of Typical Aridisols and Halosols of Xinjiang Uygur Autonomous Region in Soil Taxonomy[J]. Acta Pedologica Sinica, 2021, 58 (1): 55–68.

新疆典型干旱土和盐成土的系统分类归属*

郝士横¹, 吴克宁^{1, 2†}, 鞠兵³, 杜凯闯¹, 武红旗⁴, 杨淇钧¹, 李晓亮¹

(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: 以新疆维吾尔自治区 17 个典型干旱土和盐成土的代表性单个土体作为本文研究对象, 基于剖面形态特征和理化性质的分析, 确定在中国土壤系统分类(CST)中的归属。研究过程中发现 CST 对于干旱表层的判定条件与盐积正常干旱土的定义有矛盾之处, 致使分类时将一些含有盐积层的土壤划归到干旱土中, 从而使干旱土扩大, 盐成土减少, 不利于盐成土的改良利用。本文提出修改建议, 在干旱表层定义(2)后加上不满足盐积层条件的限定, 将盐积正常干旱土的盐积层出现深度改为 30 cm 以下。还建议在钙积正常干旱土下设立高盐钙积正常干旱土亚类。并且按照建议方案对供试剖面进行归属。进行世界土壤资源参比基础(WRB)、美国土壤系统分类(ST)、中国土壤系统分类(CST)之间的参比。本文可以为修订和完善《中国土壤系统分类检索》(第四版)提供资料和建议。

关键词: 土壤系统分类; 干旱土; 盐成土; 新疆维吾尔自治区

中图分类号: S155.3 **文献标志码:** A

Attribution of Typical Aridisols and Halosols of Xinjiang Uygur Autonomous Region in Soil Taxonomy

HAO Shiheng¹, WU Kening^{1, 2†}, JU Bing³, DU Kaichuang¹, WU Hongqi⁴, YANG Qijun¹, LI Xiaoliang¹

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

Abstract: 【Objective】To have the soils in Xinjiang (short for the Xinjiang Uygur Autonomous Region of China) reasonably, clearly and scientifically classified will lay down a good foundation for development, utilization, mapping and management of the soil resources in the arid regions of China. In the process of the research, contradictions are found in the Chinese Soil Taxonomy (3rd ed.). The definition of the Aridic epipedon in the CST states that “from the soil surface, there is no salt or sodic vesicular

* 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. 2014FY110200A03)

† 通讯作者 Corresponding author, E-mail: wukening@cugb.edu.cn

作者简介: 郝士横(1996—), 男, 辽宁朝阳人, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤分类和土地评价。E-mail: haoshihengsoil@126.com

收稿日期: 2019–10–29; 收到修改稿日期: 2020–06–06; 网络首发日期(www.cnki.net): 2020–08–21

layer or a mixture layer of soil and salt underlying it”, however, this definition does not specify depth of the specific underlay. In addition, according to this definition, the surface or the underlying soil layer without “saltilizing” is excluded. At the same time, the Sali-Orthic Aridosols is defined as “Salic horizon, Hypersalic horizon or Salipan with upper boundary within 100 cm of the mineral soil surface”, which is obviously contradictory to the previous one, thus leading to classifying some of the soils containing Salic horizon into Aridisols. Moreover, under Calci-Orthic Aridosols, no Subgroup is set specifically for salt accumulation. Hence, even though some soil profiles do have Aridic epipedon, Calcic horizon and Salic horizon, their characteristics of salt accumulation are not reflected in their names as a type of soil. Therefore, it is necessary to study these contradictions for solution. 【Method】 In this paper, 17 typical Aridisols and Halosols soil profiles of Xinjiang were selected as objects for the study. Based on analyses of their morphological properties and physicochemical properties, the 17 soil profiles were sorted in attribution in CST. And as to the above contradictions, the following suggestions were put forth. The definition relevant to Aridic epipedon should be modified to: Down from the soil surface, no salt vesicular layer or sodic vesicular layer or underlying soil and salt mixture layer (not in compliance with the salt horizon condition). The definition of Sali-Orthic Aridosols should be modified to: Other Orthic Aridosols that contain a Salic horizon, a Hypersalic horizon or a Salipan with its upper boundary varying in the range of 30 cm to 100 cm in depth. And in addition, a Subgroup named Salic Calci-Orthic Aridosols should be augmented. Then classification of the 17 soil profiles was performed according to the proposed revisions, and Profiles No.1 ~ No.11 were used as references between WRB, ST and CST. 【Result】 Classification in light of CST shows that of the 17 soil profiles, 15 profiles are of Aridisols and 2 profiles of Halosols. However, nine of the soil profiles (No.1, 4, 5, 9, 12, 14, 15, 16 and 17) are found to have a Salic horizon within 30 cm in depth, and hence they do not comply with the proposed definition of Aridic epipedon in CST, and should be shifted from Aridisols to Halosols in classification. Profile No.2 has an Aridic epipedon and a Calcic horizon, and a Salic horizon, too, down below 30cm in depth, but was named as Salic Calci-Orthic Aridosols. References between WRB, ST and CST show that Profiles No.1~ No.11 are all in the order of Aridisols in light of ST and 10 in the order of Solonchaks and one in the order of Solonetz in light of WRB. 【Conclusion】 The contradictions in CST has expanded the area of Aridisols and reduced that of Halosols, which is not conducive to the amelioration and exploitation of Halosols. In this paper, the suggestions are put forward for revision of certain definitions to settle the contradictions in CST, such definitions of Aridic epipedon and Sali-Orthic Aridosols, and for augmentation of a Subgroup. “Salic Calci-Orthic Aridosols”. According to the proposed revisions, among the 17 soil profiles, the number of Aridisols reduced from 15 to 6, and the number of Halosols increased from 2 to 11, and one soil profile was renamed as “Salic Calci-Orthic Aridosols”, a newly augmented suborder as proposed. In this paper, only the typical Aridisols and Halosols in Xinjiang are taken as examples for the preliminary study. The next step is to expand the study area to have Aridisols and Halosols in other arid areas covered, for comparative analysis so as further perfect the Chinese Soil Taxonomy.

Key words: Soil taxonomy; Aridisols; Halosols; Xinjiang Uygur Autonomous Region

土壤是十分重要的自然资源, 与人类的生产生活息息相关。土壤分类可以体现土壤本身的特性, 探索不同土壤的差异, 帮助人们更好的认识土壤, 指导土壤的合理利用。土壤系统分类根据可以被客观观察或测量的土壤性质对土壤自然体进行分级归类^[1], 1984年我国开始了中国土壤系统分类研究, 近年来推广度越来越高, 逐渐成为土壤分类的主流^[2]。从土壤系统分类现状来看, 国际上主要有世界土壤资源参比基础(WRB)^[3]、美国土壤系统分类(ST)^[4]。中国土壤系统分类(CST)^[5]、WRB、ST均具有定

量化特点。三个分类系统对于具有干旱和盐积特征的土壤在分类上有所差异, 总体来看, WRB的一级单元未设立干旱土, ST的土纲未设立盐成土, CST的土纲既设立了干旱土也设立了盐成土, 体现了中国特色。但现行CST同样存在不足, CST对于干旱表层的判定条件中:(2)“从地表起, 无盐积或钠质孔泡结皮层或其下垫的土盐混合层”, 这就排除了无“盐化”的地表或下垫土层, 但定义盐积正常干旱土土类时又写到:“其他正常干旱土有上界在矿质土表至100cm范围内的盐积层、超盐积层或盐磐”, 这

明显是相互矛盾的。可见使用此分类系统检索时会造成干旱土和盐成土的分类不明确。干旱区的干旱土与盐成土由于定义和检索顺序问题，造成干旱土扩大，盐成土减少，不利于盐成土的改良利用。因此对目前的分类体系提出修订建议，可以使土壤分类结果更加精准，对于干旱区土壤进行科学的分类可以为我国干旱区土壤资源的利用与管理打好基础。

新疆维吾尔自治区（以下简称新疆）位于中国西北干旱内陆地区，受干旱气候影响，是我国典型的干旱区，此前已有一些学者做过新疆土壤的系统分类研究^[6-17]。本文以新疆典型具有干旱和盐积特征的土壤剖面为研究对象，依据供试土壤的理化特征，详细论述供试土壤在中国土壤系统分类（CST）的归属。针对上述 CST 存在的矛盾之处提出建议方案并且按照建议方案对供试土壤进行归属。并对世界土壤资源参比基础（WRB）、美国土壤系统分类（ST）、中国土壤系统分类（CST）进行参比。

1 材料与方 法

新疆位于中国干旱区，日照充足，降水少，蒸发强烈。使得一些土壤长期保持干旱水分状态，也使得一些土壤有着明显的盐积特征。本文所选剖面能体现干旱特征和盐积特征，具有典型性和代表性。

1.1 剖面概况

本研究有 5 个土壤剖面根据新疆土系调查（剖面 7~剖面 11），为了增加代表性和广泛性，引用了《新疆干旱土的发生特性及系统分类》^[18]中的 6 个土壤剖面（剖面 1~剖面 6）、《中国土壤系统分类—理

论·方法·实践》^[19]中的 6 个剖面（剖面 12~剖面 17）。剖面 1 位于乌什，剖面 2 位于库车，剖面 3 位于和硕，剖面 4 位于吐鲁番，剖面 5、7、11、14 位于哈密，剖面 6 位于阜康，剖面 8 位于巴里坤，剖面 9、12 位于伊吾，剖面 10 位于阿拉尔，剖面 13 位于石河子，剖面 15 位于鄯善，剖面 16 位于托克逊，剖面 17 位于博乐。供试剖面所处地区气候干旱，剖面 1~剖面 11 年均温范围在 6.5~13.9℃，平均 9.8℃，位于吐鲁番地区的剖面 4 年均温最高。剖面 1~剖面 11 年降水量范围在 16.6~193 mm，平均 81.6 mm。剖面 1~剖面 11 年蒸发量范围在 1 638~4 378 mm，平均 2 679 mm。成土母质剖面 1、6 为黄土，剖面 2、7、8、9、11 为洪—冲积物，剖面 3、4、10 为洪积物，剖面 5 为残积物。

本研究布点采集的 5 个剖面，如图 1 所示。剖面 7 采自南湖乡，剖面 8 采自哈萨克自治县，剖面 9 采自淖毛湖镇，剖面 10 采自阿拉尔市境内，剖面 11 采自陶家宫乡。总体来看，地貌为平原、丘陵两种；母质 4 个为洪—冲积物，1 个为洪积物；剖面 7、8、9 地表无植被，剖面 10、11 有稀疏植被，种类主要为盐穗木；受气候和风蚀影响，剖面 7、8 地表有砾幕，剖面 9 地表有裂隙，剖面 10 地表有盐霜、薄盐结皮、龟裂纹，剖面 11 地表有盐壳和裂隙。

1.2 实验方法

剖面 1~剖面 6 的土壤颗粒组成采用六偏磷酸钠和超声波分散以及吸管法测定，pH 采用 Backman pH 计（水土比为 1:1）测定；剖面 7~剖面 11 的颗粒组成采用比重计法测定，pH 采用 pH 计（水土比为 2.5:1）测定。所有剖面有机质均采用重铬酸钾



图 1 土壤剖面（7 号~11 号）

Fig. 1 Soil profiles (No.7~No.11)

氧化—外加热法测定,石膏采用电导法(水土比为 10:1)测定, CaCO_3 采用气量法测定,水溶性盐总量采用电导法测定。分析方法参照《土壤调查实验室分析方法》^[20]和《土壤农化分析》^[21]。

2 结果

2.1 形态特征

剖面 7~剖面 11 的形态特征见表 1,剖面 1~剖面 6 数据引自《新疆干旱土的发生特性及系统分类》。供试剖面整体土壤颜色浅,同一剖面各个土层之间颜色的变化不明显,干态颜色色调分布在 10 YR、7.5 YR、5 YR 和 2.5 YR,多数为 10 YR;明度介于 4~8,大部分大于 5;彩度介于 1~8,大部分大于 3。由黄土母质发育的剖面 1、6 质地较细,为壤土至粉砂壤土,其余剖面除 9、10 外,质地普遍较粗,砂壤土及壤砂土居多。而且剖面 2、3、4、5、7、8 的部分土层有粗骨性,剖面 7 位于 87~117 cm 的土层大于 2 mm 石砾所占百分比高达 63.5%。

2.2 理化性质

剖面 7~剖面 11 的形态特征见表 2,剖面 1~剖面 6 数据引自《新疆干旱土的发生特性及系统分类》,剖面 12~剖面 17 数据引自《中国土壤系统分类—理论·方法·实践》。供试剖面从表层开始均有盐分积聚,大部分剖面达到 CST 中盐积层的要求,剖面 14、15、16 满足盐磐的条件,剖面 3、6、7、8 满足盐积现象,盐分变化规律普遍为由表层向下逐渐增多,也存在少数由表层向下逐渐减少的剖面(例如剖面 1、3、11)。各剖面有机质含量普遍低于 $10 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,体现了干旱区矿化作用强的特点,表层有机质含量最高的剖面 11 有机质含量为 $39.6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其地表有稀疏的盐穗木。受干旱积盐和淋溶作用弱影响,供试剖面的 pH 均呈碱性,介于 7.47~9.8。石膏在供试剖面中普遍存在,黄土母质上发育的剖面 1、6 石膏含量较少,剖面 4、5、7、12、14 达到 CST 中石膏层的要求。大部分剖面表层碳酸钙含量高于下层,剖面 1、2、6、12 达到 CST 中钙积层的要求,其余剖面满足钙积现象。

2.3 主要诊断层、诊断特性、诊断现象发生过程

(1) 干旱表层。干旱表层的形成主要受干旱气候和风蚀堆积的影响。干透表土在风和水等外营力作用下发生物理分散作用,使土壤垒结重新排列而

产生结皮,结皮的上部变干时,引起土体收缩,将正起泡的空气封闭起来形成气泡状孔隙,是干旱表层的显著特点。孔泡在干湿变化中不同的胀缩程度会形成多边形裂隙。土表砾质土壤物质受风、水侵蚀后可形成砾幕^[22]。新疆漠境地区植被稀疏,植物残落物进入土壤的有机质数量非常有限,而且矿化作用强,所以干旱表层有机质含量低^[23]。除剖面 10、11 外,其余剖面含有孔泡结皮层和片状层,具有砾幕、荒漠漆皮、多边形裂隙等地表特征,表层有机质低于 $10 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

(2) 盐积层和盐积现象。在荒漠条件影响下,土壤中易溶盐随地表水下渗,并且较难淋出土体,使盐分淀积,或随地下水上升蒸发、浓缩后累积在土壤表面。地下水位的下降也可使原来形成的盐分就地残积。含盐地表水的迁移与淀积也会形成盐积层^[24]。盐分积聚的过程使土壤含盐量增高。此外地形也会对土体中盐分运动产生影响,低海拔影响了地面和地下径流的运动造成了含盐量偏高(例如剖面 4、5、9)。除剖面 3、6、7、8 外,其余剖面均达到 CST 中盐积层的要求,剖面 14、15、16 有盐磐,剖面 3、6、7、8 有盐积现象。关于各剖面盐积特征出现的位置,剖面 1 盐积层出现位置为 0~29 cm,剖面 2 盐积层出现位置为 37~150 cm,剖面 3 通体有盐积现象,剖面 4 通体符合盐积层数值标准,剖面 5 盐积层出现位置为 4~100 cm,剖面 6 盐积现象主要出现在 55~150 cm,剖面 7 盐积现象出现在 21~87 cm,剖面 8 通体有盐积现象,剖面 9 盐积层出现位置为 9~54 cm,剖面 10 盐积层出现位置为 0~112 cm,剖面 11 地表 0~8 cm 为盐结壳,剖面 12 盐积层出现位置为 3~68 cm 以下,剖面 13 盐积层出现位置为 27~60 cm,剖面 14 盐磐出现位置为 14~39 cm,剖面 15 盐磐出现位置为 10~45 cm,剖面 16 盐磐出现位置为 20~50 cm,剖面 17 盐积层出现位置为 7.5~92 cm。

(3) 钙积层和钙积现象。新疆气候干旱,土壤水分运行以上行水为主,淋溶作用甚微,并因土壤空隙大而充满空气,碳酸盐溶解和移动受到很大限制。在风化和成土过程中形成的碳酸钙和碳酸氢钙大多就地积累,使土壤表层碳酸钙含量略高于下层。在表层短暂降雨湿润后,随即迅速变干,使碳酸氢钙转变为碳酸钙并放出二氧化碳。剖面 1、2、6、12 达到 CST 中钙积层的要求,剖面 3、4、5、7、8、9、10、11、13、14、15、16、17 有钙积现象。

表 1 供试土壤形态特征

Table 1 Morphological characteristics of the studied soils

剖面号 No.	层次 Soil layers/cm	石砾 Stone gravel/% >2 mm	颗粒组成 Mechanical composition/%			颜色(干态) Color (Dry state)
			砂粒 Sand	粉粒 Silt	黏粒 Clay	
			2~0.05 mm	0.05~0.002 mm	<0.002 mm	
7	0~11	6.0	72.86	19.75	7.39	10YR6/4
	11~21	3.4	85.23	7.55	7.22	10YR7/4
	21~40	2.7	41.09	38.51	20.39	10YR7/6
	40~87	6.3	49.51	24.27	26.22	10YR8/2
	87~117	63.5	51.59	39.74	8.67	10YR8/1
	117~140	0.0	—	—	—	10YR8/1
8	0~5	6.0	66.57	26.33	7.10	10YR7/4
	5~16	27.4	87.77	4.24	7.99	10YR7/6
	16~32	25.7	84.86	7.00	8.14	10YR6/4
	32~49	38.0	87.84	5.05	7.11	10YR4/3
	49~80	45.6	86.92	6.01	7.07	10YR5/3
9	0~9	0	1.73	90.23	8.04	7.5YR7/3
	9~24	0	4.23	61.51	34.26	7.5YR8/4
	24~54	0	5.30	87.68	7.03	7.5YR7/4
	54~75	0	2.72	69.52	27.76	7.5YR7/4
	75~103	0	0.84	69.44	29.72	7.5YR8/6
	103~130	0	2.51	90.04	7.45	7.5YR8/4
10	0~12	0	40.94	37.08	21.98	7.5YR7/4
	12~22	0	9.59	34.19	56.22	7.5YR 7/6
	22~53	0	1.22	49.89	48.89	5YR 7/4
	53~81	0	84.86	8.07	7.07	5YR 6/4
	81~112	0	7.14	57.32	35.54	5YR 7/4
	112~123	0	26.02	23.52	50.46	5YR 7/4
11	0~8	0	2.12	30.74	67.14	10YR7/3
	8~20	0	49.39	39.82	10.79	10YR8/2
	20~39	0	71.54	21.28	7.19	10YR8/3
	39~65	2.8	83.45	9.32	7.23	10YR7/4
	65~110	1.3	87.54	5.25	7.21	10YR8/4
	110~135	0.2	86.80	6.00	7.20	10YR7/4

表 2 供试土壤理化性质

Table 2 Physicochemical properties of the studied soils

剖面号 No.	层次 Soil layers/cm	含盐量 Salt content/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	EC/ ($\text{ds}\cdot\text{m}^{-1}$)	有机质 Organic matter/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	石膏 Plaster/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	CaCO_3 / ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	pH
7	0~11	1.3	2.75	5.2	27.1	93.1	8.22
	11~21	4.1	4.04	13.4	26.5	80.5	8.73
	21~40	7.3	6.90	4.9	37.9	9.9	8.76
	40~87	8.8	7.98	4.3	34.3	3.2	8.76
	87~117	4.5	12.32	4.5	51.8	—	8.70
	117~140	—	21.99	4.9	—	—	8.51
8	0~5	8.6	12.60	6.2	21.7	45.5	8.17
	5~16	13.4	14.23	1.8	37.9	8.0	8.56
	16~32	12.8	27.54	4.2	18.1	10.6	8.44
	32~49	16.3	18.72	2.2	23.5	21.5	8.62
	49~80	13.4	16.00	3.0	23.5	86.4	8.68
9	0~9	14.6	24.95	12.8	—	127.5	8.31
	9~24	21.9	21.45	34.7	—	117.0	8.33
	24~54	24.9	14.07	16.8	—	103.5	8.51
	54~75	10.0	12.83	6.7	—	110.1	8.46
	75~103	4.4	14.65	6.2	—	114.9	8.48
	103~130	1.6	12.46	9.1	—	120.0	8.46
10	0~12	31.4	29.85	4.3	—	165.8	7.86
	12~22	16.0	17.02	4.6	—	112.1	8.02
	22~53	22.0	15.41	11.1	—	118.0	7.71
	53~81	10.1	76.78	5.7	—	118.8	8.30
	81~112	20.8	22.59	8.3	—	130.5	8.38
	112~123	19.4	14.25	9.4	—	128.8	8.15
11	0~8	555.0	168.20	39.6	—	59.1	7.82
	8~20	40.9	51.57	11.2	—	59.5	8.49
	20~39	14.4	8.28	4.8	—	45.4	8.4
	39~65	0.6	0.41	1.2	—	43.9	9.12
	65~110	0.9	0.64	2.7	—	9.6	8.69
	110~135	3.4	1.43	4.9	—	2.2	7.96

(4) 石膏层和石膏现象。石膏是干旱土常见的硫酸钙矿物, 溶解度大, 迁移能力强, 但在干旱地

区受到降水少和渗透浅的影响, 普遍难于淋出土体, 所以干旱区土壤大多有石膏聚集^[25]。黄土母质上发

育的剖面 1、6 较少，看来石膏聚集除了受气候条件影响外，也可能与母质有关。剖面 4、5、7、12、14 达到 CST 中石膏层的要求，剖面 1、2、3、8、13、15、16、17 有石膏现象。

(5) 碱化层。由于干旱积盐和淋溶弱所有供试剖面的 pH 均呈碱性。此外剖面 4 碱化度达 23.5%~36.8%，剖面 5 在 20 cm 以下碱化度达 71.8%，但无柱状或棱柱状结构，含盐量大于 0.5%，所以无碱积层典型特征。剖面 6 有棱柱状结构，碱化度达 38%~61%，表层土壤含盐量少，是碱化层。

(6) 土壤水分和温度状况。从收集到的剖面 1~剖面 11 的气候数据来看。剖面 1~剖面 11 年均温范围在 6.5~13.9 °C，剖面 4 位于吐鲁番地区，年均温最高，为热性土壤温度状况，其余 10 个剖面为温性土壤温度状况。剖面 1~剖面 11 年降水量范围在 16.6~193 mm，平均 81.6 mm。剖面 1~剖面 11 年蒸发量范围在 1 638~4 378 mm，平均 2 679 mm。蒸发强烈，均为干旱土壤水分状况。

3 讨 论

3.1 CST 对供试土壤的分类

从发生学基础上看，干旱土主要形成因素是干旱气候。盐成土形成因素包括干旱的气候、强烈的蒸发，地形高低起伏，地表径流和地下径流的运动和水化学特性等。虽然是诊断分类，但分类指标的选取应该有发生学思想指导。盐成土是地貌与气候组合条件下综合作用的结果。从分类目标来看，划出干旱土的目的是将缺水、不能灌溉就不能利用的土壤集中起来。划出盐成土纲，是由于盐成土大多受地下水影响，盐分在剖面中从上到下分异为 $\text{NaCl}-\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}-\text{CaCO}_3$ ，与干旱土有所不同^[19, 26]。还可以将盐碱化土壤集中起来，指导农业利用。此外干旱表层是我国首创，既便于野外诊断，又能反映干旱土的发生过程。

根据 CST (2001) 分类方案、《中国土壤系统分类土族和土系划分标准》对供试土壤进行归属，剖面 1~剖面 11 划到了土族一级，未收集到剖面 12~剖面 17 的颗粒组成，将剖面 12~剖面 17 划到了亚类一级，结果见表 3。共划分出干旱土和盐成土 2 个土纲。土壤类型 (原文) 一列给出了引用剖面在

原文中的分类归属，其中剖面 1~剖面 6 按照《中国土壤系统分类 (首次方案)》，剖面 12~剖面 17 按照《中国土壤系统分类 (修订方案)》。

3.2 土壤分类划分标准建议

CST (2001) 分类方案中干旱表层的定义指出“从地表起，无盐积或钠质孔泡结皮层或其下垫的土盐混合层”，该定义并未指明具体下垫深度；另外按照此定义就排除了无“盐化”的地表或下垫土层，而盐积正常干旱土的定义为：“有上界在矿质土表至 100 cm 范围内的盐积层、超盐积层或盐磐”，显然相互矛盾，致使在检索时将一些实际为盐成土的土壤划归到干旱土中。

中国土壤系统分类将盐成土排除在干旱土外的主要原因是考虑我国干旱区有两种含盐积层的土壤，一种受地表水影响，不受地下水影响，但进入表土的盐分自上向下移动进行着脱盐过程，剖面构型主要为 $\text{CaCO}_3-\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ ，CST (2001) 分类方案中盐积正常干旱土的设立应该是针对此种类型；另一种受地下水影响，盐分自下向上聚积进行着积盐过程，剖面构型主要为 $\text{NaCl}-\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}-\text{CaCO}_3$ ，CST (2001) 分类方案中干旱正常盐成土的设立应该是针对此种类型^[19]。但 CST (2001) 未将这两种盐积类型的土壤区别加以体现并厘定清楚，使一些实际为盐成土的土壤在归属时划归到干旱土中。此外盐成土对盐积层的要求是“上界在矿质土表至 30 cm 范围内的盐积层”，对盐积层出现位置要求是土表至 30 cm，这主要是考虑盐分对植物生长的影响，因为植物根系活动层或耕作层厚度一般大约在 30 cm 范围内^[27]。综合上述，本文建议用“其他正常干旱土中有上界在 30 cm 至 100 cm 范围内的盐积层、超盐积层或盐磐。”来定义盐积正常干旱土，将数值定在 30 cm，没采用土壤层位关系，因为本文认为这样可以与盐成土的诊断要求 (盐积层出现位置要求是土表至 30 cm) 相衔接，而且也符合土壤系统分类定量化的特点。

此外，正常干旱土亚纲下设钙积正常干旱土、盐积正常干旱土、石膏正常干旱土、黏化正常干旱土、筒育正常干旱土这五个土类。盐积正常干旱土下设有石膏盐积正常干旱土，石膏正常干旱土下设有黏化石膏正常干旱土，而钙积正常干旱土下设亚类中却没有可以体现盐积特征的亚类，所以一些剖

表 3 供试土壤的 CST 分类

Table 3 Classification of the studied soils in light of CST

剖面号 No.	诊断层 Diagnostic horizon	诊断特性 Diagnostic characteristics	诊断现象 Diagnostic evidence	土壤类型 (原文) Soil type (original text)	土壤类型 (CST2001) Soil type (CST2001)
1*	干旱表层 ^① 、钙积层 ^② 、盐积层 ^③ 、淡薄表层 ^④	干旱土壤水分状况 ^① 、温性土壤温度状况 ^② 、石灰性 ^③	石膏现象 ^⑥	盐积盐成土	壤质混合型温性-普通钙积正常干旱土
2*	干旱表层、钙积层、盐积层、淡薄表层	干旱土壤水分状况、温性土壤温度状况、石灰性	石膏现象	石膏盐积干旱土	粗骨壤质混合型温性-普通钙积正常干旱土
3*	干旱表层、锥形层 ^⑤ 、淡薄表层	干旱土壤水分状况、温性土壤温度状况	石膏现象、盐积现象 ^⑦ 、钙积现象 ^⑧	石膏盐积干旱土	粗骨砂质混合型石灰性温性-弱石膏筒育正常干旱土
4*	干旱表层、盐积层、石膏层 ^⑥ 、淡薄表层	干旱土壤水分状况、热性土壤温度状况 ^⑨ 、石灰性	钙积现象	石膏盐积干旱土	粗骨砂质混合型石灰性热性-石膏盐积正常干旱土
5*	干旱表层、盐积层、石膏层、淡薄表层	干旱土壤水分状况、温性土壤温度状况	钙积现象	石膏盐积干旱土	粗骨壤质混合型非酸性温性-石膏盐积正常干旱土
6*	干旱表层、钙积层、碱积层 ^⑦ 、黏化层 ^⑧ 、淡薄表层	干旱土壤水分状况、温性土壤温度状况、石灰性	盐积现象	正常干旱土	壤质混合型温性-黏化钙积正常干旱土
7	干旱表层、石膏层、淡薄表层	干旱土壤水分状况、温性土壤温度状况、石灰性	盐积现象、钙积现象	—	粗骨壤质混合型石灰性温性-普通石膏正常干旱土
8	干旱表层、锥形层、淡薄表层	干旱土壤水分状况、温性土壤温度状况、石灰性	盐积现象、石膏现象、钙积现象	—	粗骨砂质混合型石灰性温性-弱石膏筒育正常干旱土
9	干旱表层、盐积层、淡薄表层	干旱土壤水分状况、温性土壤温度状况，石灰性	钙积现象	—	黏壤质混合型石灰性温性-普通盐积正常干旱土
10	盐积层、淡薄表层	干旱土壤水分状况、温性土壤温度状况、石灰性	钙积现象	—	黏质盖砂质混合型石灰性温性-洪积干旱正常盐成土
11	盐积层、盐结壳 ^⑩ 、淡薄表层	干旱土壤水分状况、温性土壤温度状况、石灰性	钙积现象	—	黏质盖砂质混合型石灰性温性-普通干旱正常盐成土
12**	干旱表层、盐积层、钙积层、石膏层、淡薄表层	干旱土壤水分状况	—	石膏盐积正常干旱土	石膏钙积正常干旱土
13**	干旱表层、盐积层	干旱土壤水分状况、钠质特性 ^⑪	石膏现象、钙积现象	钠质盐积正常干旱土	钠质盐积正常干旱土

续表

剖面号 No.	诊断层 Diagnostic horizon	诊断特性 Diagnostic characteristics	诊断现象 Diagnostic evidence	土壤类型 (原文) Soil type (original text)	土壤类型 (CST2001) Soil type (CST2001)
14**	干旱表层、盐积层、石膏层、盐磐 ^⑩ 、淡薄表层	干旱土壤水分状况	钙积现象	石膏磐状盐积正常干旱土	石膏磐状盐积正常干旱土
15**	干旱表层、盐积层、盐磐、淡薄表层	干旱土壤水分状况	石膏现象、钙积现象	磐状盐积正常干旱土	磐状盐积正常干旱土
16**	干旱表层、盐积层、石膏层、盐磐、淡薄表层	干旱土壤水分状况	石膏现象、钙积现象	磐状盐积正常干旱土	磐状盐积正常干旱土
17**	干旱表层、盐积层、淡薄表层	干旱土壤水分状况	石膏现象、钙积现象	普通盐积正常干旱土	普通盐积正常干旱土

①Aridic epipedon, ②Calcic horizon, ③Salic horizon, ④Ochric epipedon, ⑤Cambic horizon, ⑥Gypsic horizon, ⑦Alkalic horizon, ⑧Argic horizon, ⑨Salic crust, ⑩Salipan, ⑪Aridic soil moisture regime, ⑫Mesic soil temperature regime, ⑬Calcaric property, ⑭Thermic soil temperature regime, ⑮Sodic property, ⑯Gypsic evidence, ⑰Salic evidence, ⑱Calcic evidence. 注: *资料引自《新疆干旱土的发生特性及系统分类》, 1992. **资料引自《中国土壤系统分类—理论·方法·实践》, 1999. 下同。 Note: *The data are quoted from “Genetic Characteristics and Taxonomic Classification of arid soil in Xinjiang”, 1992. **The data are quoted from “Chinese Soil Taxonomy—Theory · Method · Practice”, 1999. The same below.

面 (例如剖面 2), 诊断层有干旱表层、钙积层和盐积层, 但土壤类型名称却体现不出盐积特征。因此本文建议在钙积正常干旱土下设立“高盐钙积干旱土”。本着最小限度改动原有诊断体系与框架的原则, 将“高盐钙积正常干旱土”的位置暂时设立在 G2.1.9。这样会使一些原本具有盐积层的“普通钙积正常干旱土”按建议变为“高盐钙积正常干旱土”, 从名称上体现出盐积的特点, 在土壤利用时对此类土壤认识更加深刻。

综上, 根据供试土壤剖面的土壤特征对现行中国土壤系统分类提出分类建议。修改后的检索方案如下:

修改后的诊断表层:

D 结皮表层类

1. 干旱表层

(2) 从地表起, 无盐积孔泡结皮层或钠质孔泡结皮层或其下垫的土盐混合层 (不满足盐积层条件)。

正常干旱土

土类的检索

G2.2 其他正常干旱土中有上界在 30 cm 至

100 cm 范围内的盐积层、超盐积层或盐磐。

盐积正常干旱土

增设相关亚类:

G2.1 钙积正常干旱土亚类的检索

G2.1.9 其他钙积正常干旱土中在 30 cm 至 100 cm 范围内有盐积层、超盐积层或盐磐。

高盐钙积正常干旱土

按照 CST 建议方案, 剖面 1~剖面 11 的归属如表 4 所示, 未收集到剖面 12~剖面 17 的颗粒组成, 所以将剖面 12~剖面 17 划到了亚类一级, 剖面 12 为石膏干旱正常盐成土, 剖面 13 为钠质盐积正常干旱土, 剖面 14 为石膏—盐磐干旱正常盐成土, 剖面 15、16、17 为普通干旱正常盐成土。结果表明剖面 1、4、5、9、12、14、15、16、17 在土体 30 cm 内含有盐积层, 不符合建议方案中干旱表层定义, 由干旱土变为盐成土。剖面 2 含有干旱表层、钙积层、并且在土体 30 cm 以下有盐积层, 划为高盐钙积正常干旱土。按照建议方案, 可以进一步明确干旱表层的概念, 改变将实际为盐成土的土壤划归到干旱土中的现象, 尤其是其中“干旱正常盐成土”土类的数量, 有利于盐成土的改良和利用。

表 4 供试土壤的 CST 建议方案

Table 4 Proposed revisions of CST for classification of the studied soils

剖面号 No.	土族 (CST2001 建议方案) Soil family (proposed revisions of CST2001)	剖面号 No.	土族 (CST2001 建议方案) Soil family (proposed revisions of CST2001)
1*	壤质混合型温性-普通干旱正常盐成土 Loamy Mixed Mesic-Typic Aridi-Orthic Halosols	7	粗骨壤质混合型石灰性温性-普通石膏正常干旱土 Loamy-skeletal Mixed Calcareous Mesic-Typic Gypsi-Orthic Aridosols
2*	粗骨壤质混合型温性-高盐钙积正常干旱土 Loamy-skeletal Mixed Mesic-Salic Calci-Orthic Aridosols	8	粗骨砂质混合型石灰性温性-弱石膏筒育正常干旱土 Sandy-skeletal Mixed Calcareous Mesic-Paragypsic Hapli-Orthic Aridosols
3*	粗骨砂质混合型石灰性温性-弱石膏筒育正常干旱土 Sandy-skeletal Mixed Calcareous Mesic-Paragypsic Hapli-Orthic Aridosols	9	黏壤质混合型石灰性温性-普通干旱正常盐成土 Fine-loamy Mixed Calcareous Mesic-Typic Aridi-Orthic Halosols
4*	粗骨砂质混合型石灰性热性-石膏干旱正常盐成土 Sandy-skeletal Mixed Calcareous Thermic-Gypsic Aridi-Orthic Halosols	10	黏质盖砂质混合型石灰性温性-洪积干旱正常盐成土 Clayey over Sandy Mixed Calcareous Mesic-Dilluvic Aridi-Orthic Halosols
5*	粗骨壤质混合型非酸性温性-石膏干旱正常盐成土 Loamy-skeletal Mixed Nonacid Mesic-Gypsic Aridi-Orthic Halosols	11	黏质盖砂质混合型石灰性温性-普通干旱正常盐成土 Clayey over Sandy Mixed Calcareous Mesic-Typic Aridi-Orthic Halosols
6*	壤质混合型温性-黏化钙积正常干旱土 Loamy Mixed Mesic-Argic Calci-Orthic Aridosols		

3.3 供试土壤 CST 与 ST、WRB 参比

针对具有干旱和盐积特征的土壤, WRB、ST、CST 三者 in 分类系统设立方面, WRB 的一级单元设立了盐土 (Solonchaks), 未设立干旱土, 而是在盐土的限定词中有所体现, 例如龟裂 (Takyric)、干漠 (Yermic)、干旱 (Aridic); ST 的土纲设立了干旱土 (Aridisols), 未设立盐成土, 在干旱土下设有盐积干旱土亚纲 (Salids) [28]; 新疆农业大学钟骏平教授指出: ST 未划分盐成土土纲的原因, 主要是它主要分布在美国干旱与半干旱地区。南京农业大学徐盛荣教授曾咨询过美国土壤分类专家, 他们认为盐成土是生理干旱。CST 的土纲既设立了干旱土也设立了盐成土, 土类也设立了盐积正常干旱土和干旱正常盐成土。

三者 in 干旱特征主要诊断标准方面, WRB 以龟裂特性 (Takyric Properties)、干漠特性 (Yermic Properties)、干旱特性 (Aridic Properties) 分别来确定盐土的限定词: 龟裂 (Takyric)、干漠 (Yermic)、干旱 (Aridic); ST 以干旱水分状况 (Aridic soil moisture regime) 来划定干旱土。CST 则以干旱表层划定干旱土。

三者 in 盐积特征主要诊断标准方面, 均设有盐积层。对盐积层的厚度要求均为 15 cm。达到盐积层的数值要求有所差别, WRB 要求 25 °C 条件下土壤饱和浸提液的电导率 $\geq 15 \text{ ds}\cdot\text{m}^{-1}$, ST 要求土壤饱和浸提液的电导率 $\geq 30 \text{ ds}\cdot\text{m}^{-1}$, CST 要求干旱土或干旱地区盐成土中含盐量 $\geq 20 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 或 1:1 水土比提取液的电导率 $\geq 30 \text{ ds}\cdot\text{m}^{-1}$ 。电导率与厚度的乘积要求也有所差别, WRB 要求 ≥ 450 , ST 要求 ≥ 900 , CST 要求 ≥ 900 (含盐量与厚度乘积 ≥ 600)。对于盐积层出现深度的要求也有所差别, WRB 要求盐积层的上界在距地表的 50 cm 深度内出现可划为盐土 (Solonchaks), ST 要求盐积层的上界在距地表的 100 cm 深度内出现即可划为盐积干旱土 (Salids), CST 要求盐积层的上界在矿质土表至 30 cm 范围内出现划为盐成土 [29]。

未收集到剖面 12~剖面 17 的颗粒组成, 以剖面 1~剖面 11 进行 CST、ST、WRB 之间的参比。根据 ST (2014) 方案, 供试土壤的 ST 归属如表 5 所示, 其中 11 个剖面划为干旱土 (Aridisols), 7 个亚纲为盐积干旱土 (Salids), 1 个石膏干旱土 (Gypsids), 1 个钙积干旱土 (Calcids), 2 个正常干

旱土 (Cambids)。因为 ST 中盐积干旱土 (Salids) 检索顺序在钙积干旱土 (Calcids) 之前, 所以剖面 1 和 2 在 ST 中归属为盐积干旱土 (Salids)。(剖面 1~剖面 6 无电导率数据, 故此按照以往 ST 版本中含盐量大于 2% 来确定供试土壤的盐性特征^[30]。) 根据 WRB (2014) 方案, 供试土壤的 WRB 归属如表 5 所示, 其中 10 个剖面划为盐土 (Solonchaks)。剖面 6 含有碱化层 (Natric horizon)、盐积层 (Salic horizon) 和钙积层 (Calcic horizon), 按照 WRB 中碱土在盐土之前的检索顺序, 划为碱土 (Solonetz)。WRB 中对盐积层电导率数值要求比 ST 和 CST 低, 剖面 3、6、7、8 在 ST 和 CST 中未达到盐积层标准, 在 WRB 中达到了盐积层标准。(剖面 1~剖面 6 无

电导率数据, 故此按照与电导率为 $15 \text{ ds}\cdot\text{m}^{-1}$ 效果近似的含盐量大于 1% 来确定供试土壤的盐积层。)

4 结 论

本文选取 17 个新疆典型干旱土和盐成土的土壤剖面进行系统分类研究, 确定 17 个剖面在 CST 中的归属, 15 个剖面为干旱土, 2 个剖面为盐成土。研究过程中发现 CST 存在一定矛盾, 导致分类时将一些含有盐积层的土壤归到干旱土中, 从而使干旱土扩大, 盐成土减少, 不利于盐成土的改良利用。针对存在的矛盾, 本文提出修改干旱表层和盐积正常干旱土的相关定义, 并且增设“高盐钙积正常干旱

表 5 供试土壤的参比

Table 5 Reference of the studied soils between CST, ST and WRB

剖面号 No.	CST (2001)	ST (2014)	WRB (2014)
1*	壤质混合型温性-普通钙积正常干旱土 Loamy Mixed Mesic-Typic Calci-Orthic Aridosols	细壤质混合型高活性温性-钙积弱发育 盐积干旱土 Fine-loamy Mixed Superactive Mesic-Calcic Haplosalids	钙积盐土 (壤质, 干旱) Calcic Solonchaks (Loamic, Aridic)
2*	粗骨壤质混合型温性-普通钙积正常干旱土 Loamy-skeletal Mixed Mesic-Typic Calci-Orthic Aridosols	粗骨壤质混合型高活性温性-钙积弱发育 盐积干旱土 Loamy-skeletal Mixed Superactive Mesic-Calcic Haplosalids	钙积盐土 (砂质, 干漠) Calcic Solonchaks (Arenic, Yermic)
3*	粗骨砂质混合型石灰性温性-弱石膏筒育正常干旱土 Sandy-skeletal Mixed Calcareous Mesic-Paragypsic Hapli-Orthic Aridosols	砂质混合型高活性石灰性温性-典型弱发育正常干旱土 Sandy Mixed Superactive Calcareous Mesic-Typic Haplocambids	筒育盐土 (石灰, 干漠) Haplic Solonchaks (Calcaric, Yermic)
4*	粗骨砂质混合型石灰性热性-石膏盐积正常干旱土 Sandy-skeletal Mixed Calcareous Thermic-Gypsic Sali-Orthic Aridosols	粗骨砂质混合型高活性石灰性热性-石膏弱发育盐积干旱土 Sandy-skeletal Mixed Superactive Calcareous Thermic-Gypsic Haplosalids	石膏盐土 (石灰, 干漠) Gypsic Solonchaks (Calcaric, Yermic)
5*	粗骨壤质混合型非酸性温性-石膏盐积正常干旱土 Loamy-skeletal Mixed Nonacid Mesic-Gypsic Sali-Orthic Aridosols	粗骨壤质混合型高活性石灰性温性-石膏弱发育盐积干旱土 Loamy-skeletal Mixed Superactive Calcareous Mesic-Gypsic Haplosalids	石膏盐土 (石灰, 干漠) Gypsic Solonchaks (Calcaric, Yermic)

续表

剖面号 No.	CST (2001)	ST (2014)	WRB (2014)
6*	壤质混合型温性-黏化钙积正常干旱土 Loamy Mixed Mesic-Argic Calci-Orthic Aridosols	壤质混合型高活性温性-钠质弱发育钙 积干旱土 loamy Mixed Superactive Mesic-Sodic Haplocalci	盐积钙积碱土(壤质, 干旱) Salic Calcic Solonetz (Loamic, Aridic)
7	粗骨壤质混合型石灰性温性-普通石膏正 常干旱土 Loamy-skeletal Mixed Calcareous Mesic-Typic Gypsi-Orthic Aridosols	粗骨壤质混合型石灰性温性-结核弱发 育石膏干旱土 Loamy-skeletal Mixed Calcareous Mesic-Petronodic Haplogypsid	石膏盐土(石灰, 干漠) Gypsic Solonchaks (Calcaric, Yermic)
8	粗骨砂质混合型石灰性温性-弱石膏筒育 正常干旱土 Sandy-skeletal Mixed Calcareous Mesic-Paragypsic Hapli-Orthic Aridosols	粗骨砂质混合型石灰性温性-典型弱发 育正常干旱土 Sandy-skeletal Mixed Calcareous Mesic-Typic Haplocambids	筒育盐土(石灰, 干漠) Haplic Solonchaks (Calcaric, Yermic)
9	黏壤质混合型石灰性温性-普通盐积正常 干旱土 Fine-loamy Mixed Calcareous Mesic-Typic Sali-Orthic Aridosols	细粉混合型石灰性温性-典型弱发育盐 积干旱土 Fine-silty Mixed Calcareous Mesic- Typic Haplosalids	筒育盐土(石灰, 龟裂) Haplic Solonchaks (Calcaric, Takyric)
10	黏质盖砂质混合型石灰性温性-洪积干旱正 常盐成土 Clayey over Sandy Mixed Calcareous Mesic-Dilluvic Aridi-Orthic Halosols	黏质混合型石灰性温性-典型弱发育盐 积干旱土 Clayey Mixed Calcareous Mesic-Typic Haplosalids	筒育盐土(石灰, 超盐) Haplic Solonchaks (Calcaric, Hypersalic)
11	黏质盖砂质混合型石灰性温性-普通干旱 正常盐成土 Clayey over Sandy Mixed Calcareous Mesic- Typic Aridi-Orthic Halosols	黏质盖砂质混合型石灰性温性-典型弱 发育盐积干旱土 Clayey over Sandy Mixed Calcareous Mesic-Typic Haplosalids	筒育盐土(石灰, 超盐) Haplic Solonchaks (Calcaric, Hypersalic)

土”亚类。然后按照建议方案,对17个供试剖面重新进行归属,干旱土的数量由15个变为6个,盐成土的数量由2个变为11个。剖面2由普通钙积正常干旱土变为所增设的“高盐钙积正常干旱土”亚类。并用剖面1~剖面11进行WRB、ST、CST之间的参比,参比结果显示ST将11个剖面划为干旱土(Aridisols)。WRB将10个剖面划为盐土(Solonchaks),1个剖面划为碱土(Solonetz)。本文仅以新疆地区典型的干旱土和盐成土为例开展了初步研究,下一步应扩大研究区域,纳入甘肃、青海、西藏等其他西北干旱区的干旱土和盐成土,并进行对比分析,以进一步完善我国的土壤系统分类。

致 谢 感谢中国农业大学张凤荣教授、中国科学院南京土壤研究所张甘霖研究员、李德成研究员在“我国土系调查与《中国土系志(中西部卷)》编制”课题结题会上的帮助与指导。

参考文献 (References)

- [1] Nyle C Brady, Ray R Weil, Li B G, Xu J M, et al. trans. The nature and properties of soils [M]. Beijing: Science Press, 2019. [尼尔·布雷迪(Nyle C. Brady), 雷·韦尔(Ray R. Weil). 李保国, 徐建明, 等. 译. 土壤学与生活[M]. 北京: 科学出版社, 2019.]
- [2] Zhang G L, Wang Q B, Zhang F R, et al. Criteria for establishment of soil family and soil series in Chinese Soil Taxonomy[J]. Acta Pedologica Sinica, 2013, 50(4): 826—834. [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.]
- [3] IUSS Working Group WRB. 2014. World Reference Base for Soil Resources 2014[M]. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Report No.106.FAO, Rome
- [4] Soil Survey Staff, USDA, NRCs. Keys to Soil Taxonomy[M]. Twelfth Edition, 2014
- [5] 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.]
- [6] Li F M. Study on the classification of aridisols and halosols in Xinjiang[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2018. [李方鸣. 干旱区盐成土和干旱土诊断特征与检索研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2018.]
- [7] Zhang W K. Typical soil series research and land use in southern Xinjiang[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2017. [张文凯. 南疆典型土系调查与土地利用[D]. 北京: 中国地质大学, 2017.]
- [8] Li S G, Cheng X J. The revised scheme of aridisols systematic classification in Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 1993, 10(4): 1—3. [李述刚, 程心俊. 新疆干旱土系统分类的修订方案[J]. 干旱区研究, 1993, 10(4): 1—3.]
- [9] Guan X, Zhong J P, Zhang F R. The attribution of “brown desert soil” of southern Xinjiang in Chinese Soil Taxonomy [J]. Soils, 2001, 33(6): 289—294. [关欣, 钟骏平, 张凤荣. 南疆“棕漠土”在土壤系统分类中的归属[J]. 土壤, 2001, 33(6): 289—294.]
- [10] 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.]
- [11] Guan X, Li Q Y, Zhang F R, et al. Soil-forming conditions and gypsum accumulation in aridisols in the south of Xinjiang[J]. Soils, 2003, 35(2): 148—151. [关欣, 李巧云, 张凤荣, 等. 南疆干旱土的成土条件与石膏的聚集[J]. 土壤, 2003, 35(2): 148—151.]
- [12] Mo Z X, Liu W Y, Wu W M. Research on the genetic characteristic and taxonomy of soils in Aral irrigated area[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27(6): 40—43, 57. [莫治新, 柳维扬, 伍维模. 新疆阿拉尔垦区土壤发生特性及系统分类研究[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(6): 40—43, 57.]
- [13] Li X P, Cui F R, Wei Y C, et al. Soil taxonomy in Hetian development zone, Xinjiang[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2007, 35(12): 133—137. [李新平, 崔方让, 魏迎春, 等. 新疆和田开发区土壤系统分类研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(12): 133—137.]
- [14] Deng Y, Li X P, Cui F R. Taxonomy of saline-alkali soil in Aksu area[J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry (Natural Science Edition), 2006, 34(1): 113—116. [邓雁, 李新平, 崔方让. 新疆阿克苏农一师北二干盐碱荒地土壤系统分类研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, 34(1): 113—116.]
- [15] Li H P. Basic taxonomy of aridisols in Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2001, 18(2): 56—60. [李和平. 新疆干旱土纲基层分类探讨[J]. 干旱区研究, 2001, 18(2): 56—60.]
- [16] Li H P, Fan Z L, Cheng X J, et al. Study on basic soil classification form limited factor index of land resources development—An example from basic categories of aridisols order[J]. Arid Zone Research, 2000, 17(2): 28—33. [李和平, 樊自立, 程心俊, 等. 采用土地资源利用限制因素指标进行土壤基层分类(以新疆干旱土纲基层分类为例)[J]. 干旱区研究, 2000, 17(2): 28—33.]
- [17] Zou D S. The irrigation-farming soils in arid land in Xinjiang & Tibet & its position in soil system classification[J]. Arid Land Geography, 1994, 17(2): 61—66. [邹德生. 新疆西藏干旱区的灌耕土及其在土壤系统分类中的位置[J]. 干旱区地理, 1994, 17(2): 61—66.]
- [18] Ding R X, Guan X. Genetic characteristics and taxonomic classification of arid soil in Xinjiang[M]. Discussion on classification of soil systems in China, 1992. [丁瑞兴, 关欣. 新疆干旱土的发生特性及系统分类[M]. 中国土壤系统分类探讨, 1992.]
- [19] Gong Z T, et al. Chinese Soil Taxonomy—Theory · methodology · practices[M]. Beijing: Science Press, 1999. [龚子同, 等. 中国土壤系统分类—理论·方法·实践[M]. 北京: 科学出版社, 1999.]
- [20] Zhang G L, Gong Z T. Soil survey laboratory methods[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.]
- [21] Bao S D. Soil and agrochemistry 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.]
- [22] Lei W J, Gu G A. The revised scheme of Aridisols systematic classification in Xinjiang [J]. Soils, 1996, 28(5): 232—236. [雷文进, 顾国安. 中国土壤系统分类中干旱土分类的修订说明[J]. 土壤, 1996, 28(5): 232—236.]
- [23] Gong Z T. Soil geography of China[M]. Beijing: Science Press, 2014. [龚子同. 中国土壤地理[M]. 北京: 科学出版社, 2014.]

- [24] Gong Z T, Lei W J, Chen H Z. On the Dryland of China [J]. *Arid Zone Research*, 1988, 5 (2): 1—9. [龚子同, 雷文进, 陈鸿昭. 中国的干旱土[J]. *干旱区研究*, 1988, 5 (2): 1—9.]
- [25] Zhang F R. *Soil geography*[M]. Beijing : China Agriculture Press, 2002. [张凤荣. *土壤地理学*[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.]
- [26] Gong Z T, Lei W J, Cao S G. Aridisols Systematic Classification in China [J]. *Progress in Soil Science*, 1994, 22 (2): 45—47. [龚子同, 雷文进, 曹升赓. 中国干旱土的系统分类[J]. *土壤学进展*, 1994, 22 (2): 45—47.]
- [27] Zhu S Q, Wang Z Q. Classification principle and classification system of saline soil[J]. *Soils*, 1989, 21 (2): 106—109. [祝寿泉, 王遵亲. 盐渍土分类原则及其分类系统[J]. *土壤*, 1989, 21 (2): 106—109.]
- [28] Guy D Smith, Li L J. trans. The theoretical basis of the concept of soil taxonomy[M]. Beijing : Beijing Agricultural University Press, 1988. [史密斯. 李连捷等译. 土壤系统分类概念的理论基础[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1988.]
- [29] Zhang F R, Wang X L, Wang S, et al. Suggested revisions of diagnostic criteria for halosols and relevant soils in Chinese Soil Taxonomy[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50 (2): 419—422. [张凤荣, 王秀丽, 王数, 等. 中国土壤系统分类中盐成土及其相关土壤诊断标准的修订建议[J]. *土壤学报*, 2013, 50 (2): 419—422.]
- [30] Soil Survey Staff. Zhong J P, Zhang F R. trans. Keys to Soil Taxonomy[M]. Urumqi: Xinjiang University Press, 1994: 15. [Soil Survey Staff. 钟骏平, 张凤荣. 译. 土壤系统分类检索[M]. 乌鲁木齐: 新疆大学出版社, 1994: 15.]

(责任编辑: 檀满枝)