

# 我国灌淤土的粘土矿物特点\*

史成华 龚子同

(中国科学院南京土壤研究所)

灌淤土是指在灌溉、施肥和耕作等农事活动影响下已形成 50 厘米以上厚度的灌淤土层(称灌淤层)的土壤。在我国,主要分布于宁夏银川平原、内蒙古河套平原、甘肃河西走廊、新疆塔里木盆地和准葛尔盆地的四周以及青海的湟水河谷地等,是我国西北干旱区最重要的农田和产粮基地。研究灌淤土的粘土矿物组成以及元素的迁移富集特点,对于了解灌淤土的形成及分类、物理化学性质以及利用和改良都具有十分重要的意义。前人在这方面的工作很少,尤其是有关灌淤土的粘土矿物特点,前人还没有研究过。本文试从全国范围内全面地研究灌淤土的粘土矿物的化学组成、元素的富集特点以及矿物成分,为灌淤土的系统分类提供依据。

## 一、供试土壤和方法

### (一)供试土壤

供试土壤剖面有 5 个,它们分别采自新疆的准葛尔盆地、塔里木盆地、甘肃的河西走廊和宁夏的银川平原地区。供试土壤剖面的自然地理状况列于表 1。

表1 供试土壤的主要自然地理状况

剖面号	采样地点	地理位置		地形	母质	海拔 (m)	年均温 (°C)	无霜期 (天)	年降水量 (mm)	年蒸发量 (mm)	≥10°C 积温 (°C)	作物	所属土壤地带
		北纬	东经										
IW <sub>1</sub>	新疆 阜康县	44.19	87.95	洪积扇 下部	冲积物 洪积物	567	6.5	164	184	1739.1	3500	小麦	灰漠土
IW <sub>2</sub>	新疆 策勒县	37.07	80.80	河流一 级阶地	河流淤积物	1336	11.7	222	36	2588.2	4092	苜蓿	棕漠土
IW <sub>3</sub>	甘肃 武威县	37.93	102.64	冲洪积 扇底部	河流冲积物 洪积物	1531	7.7	155	161	2019.9	3003	油菜 土豆	灰棕 土
IW <sub>4</sub>	甘肃 武威县	37.93	102.64	冲洪积 扇下部	冲积物 洪积物	1531	7.7	155	161	2019.9	3003	白菜	灰棕 土
IW <sub>5</sub>	宁夏 永宁县	38.24	106.15	冲积 平原	河流 冲积物	1130— 1150	8.7	166	201.4	1784.7	3240	水稻	灰钙土

与自然土壤相比,灌淤土的剖面有一个深厚的灌淤土层。灌淤土层内可分为几个亚层,各亚层的质地、结构和颜色比较均一。灌淤土层之下为土壤母质或原自然土壤的埋藏层次。灌淤土的物理化学性质具有明显的地域特点,同时也受到当地自然生物气候条件的影响。

### (二)方法

1. <2μm的土壤粘粒的提取:将已通过10目筛孔的土壤样品用稀盐酸除去碳酸盐,再用

\* 中国科学院特别支持资助项目  
国家自然科学基金资助项目

洗去 $\text{Cl}^-$ ，用双氧水去除有机质后提取<sup>(1)</sup>。

2. 土壤胶体的矿质全量分析： $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 和 $\text{CaO}$ 用 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 熔融法熔样，其中， $\text{SiO}_2$ 用重量法， $\text{Al}_2\text{O}_3$ 用容量法， $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 用比色法， $\text{MgO}$ 和 $\text{CaO}$ 用原子吸收光谱法测定， $\text{TiO}_2$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{MnO}$ 用 $\text{LiCO}_3\text{-H}_3\text{BO}_4$ 熔样，等离子光谱测定， $\text{K}_2\text{O}$ 和 $\text{Na}_2\text{O}$ 用 $\text{HF-HClO}_4$ 消化，火焰光度法测定。

3. 土壤粘土矿物分析：将 $<2\mu\text{m}$ 的粘粒去铁后用镁饱和的甘油水溶液制成定向薄膜，在X射线衍射仪上用 $\text{CuK}\alpha$ 辐射得到的X射线图谱进行分析\*。

## 二、结果与讨论

### (一) 粘粒( $<2\mu\text{m}$ )的矿质全量组成

从表2可以看出，灌淤土的粘粒的矿质全量组成以 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 为主，三者之和可占全量的80%以上。从垂直分异来说，粘粒的矿质全量组成自上而下有一定的差异，但不大。 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 以及 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 的分子比率的变化都较小，表明在灌淤土的形成过程中没有Si和Al的迁移作用。从表2还可以看出，供试土壤剖面的上下层之间 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 的含量及 $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 率的变化比 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 的变化要大得多，表明灌淤土的形成过程中有铁的移动。这是因为在灌淤土形成过程中有一定的干湿交替，导致铁的微弱移动；但在有地下水参与作用的潮灌淤土中和种植水稻的水耕灌淤土中(例如 $\text{IW}_5$ 为水耕亚类)，铁的移动就更加明显。

粘粒中各氧化物的含量在各剖面之间的变化为： $\text{SiO}_2$ 的含量在 $\text{IW}_1$ 中较高，为56—80%；其他各剖面间差别不大，在50—53%之间； $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 在各剖面间变化很小，都在4—5左右， $\text{IW}_1$ 剖面略高于其他剖面；而 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 的含量变化为： $\text{IW}_1$ 剖面较小，在6.49—6.73之间，其他剖面在8—10之间变动； $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 的变化顺序为： $\text{IW}_1 > \text{IW}_4 > \text{IW}_3 > \text{IW}_2 > \text{IW}_5$ (三层平均值)； $\text{CaO}$ 在各剖面中含量都很少，在1%以下，尤其是 $\text{IW}_1$ 剖面，更 $<0.2\%$ ； $\text{P}_2\text{O}_5$ 的含量也都在0.2%以下，这和粘粒提取过程中的脱碳酸盐及有机质有关：因为灌淤土中的Ca主要以 $\text{CaCO}_3$ 的形式存在，而磷则主要存在于有机质中； $\text{K}_2\text{O}$ 的含量除 $\text{IW}_1$ 中较低，为2—3%，其余都在4%左右。

综上所述，灌淤土粘粒的矿质全量组成主要受灌淤土分布地区的大生物气候条件所制约(表现在粘粒的 $\text{SiO}_2$ 含量， $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 以及 $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ 分子比率普遍较高等)；但各地生物气候条件的不同并不造成各灌淤土粘粒矿物化学组成的差异，例如，各地区的灌淤土粘粒的 $\text{SiO}_2$ 含量和硅铝率之间差异较小而且不随生物气候条件的变化发生有规律的变化。这是因为灌淤土是人为土壤，在灌淤土的形成过程中，各地区间自然生物气候条件的差异已被人为作用消除，表现在人为灌溉消除了干旱程度的差异，人工栽培作物又排除了自然植被的不同，使各地区间的生物气候条件趋于同一<sup>(2)</sup>。

由于灌淤土形成过程中自然成土作用较微弱，因此，其粘粒的化学组成与母质(灌淤淤积物等)之间具有很大的继承性，因此，不同灌淤土剖面的粘粒化学组成的差异应归功于其物质来源的不同。同时，从表2还可以看出，各剖面中粘粒的矿质全量组成非常接近，表明其主要粘土矿物的成分基本相同，这从后文可以得到印证。

\* 此项测定得到我所物化室杨德涌先生的指导和帮助，表示感谢。

表2

土壤粘粒(<2 $\mu$ m)矿质全量组成(占烘干土重%)

剖面代号	采样地点	采土深度 (cm)	发生层	烧失量 %	SiO <sub>2</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %	MgO %	TiO <sub>2</sub> %	MnO %	K <sub>2</sub> O %	N <sub>2</sub> O %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	和			
															SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
IW <sub>1</sub>	新疆	0—12	耕作层	7.80	56.57	6.73	20.57	0.14	2.81	0.89	0.04	2.72	0.67	0.13	4.67	22.34	3.86	4.79
			灌溉层	7.38	57.77	6.39	20.70	0.12	2.46	0.92	0.03	2.67	0.57	0.13	4.74	24.03	3.96	5.07
			下垫层	7.08	57.68	6.49	20.83	0.18	2.58	0.90	0.03	2.62	0.52	0.13	4.70	23.62	3.92	5.03
IW <sub>2</sub>	新疆	0—11	耕作层	6.20	53.91	8.40	19.17	0.94	4.18	0.99	0.07	4.14	1.09	0.13	4.77	17.06	3.73	3.57
			灌溉层	7.84	52.13	8.90	19.26	0.81	4.10	0.98	0.07	3.92	1.15	0.11	4.59	15.57	3.55	3.39
			母质层	6.55	51.46	9.75	19.49	0.79	4.66	1.02	0.07	4.08	1.08	0.11	4.48	14.03	3.40	3.26
IW <sub>3</sub>	甘肃	0—20	耕作层	7.18	51.87	8.45	22.54	0.20	3.16	0.69	0.05	4.31	0.52	0.14	3.90	16.31	3.15	4.18
			灌溉层	7.02	52.05	8.30	22.51	0.20	3.24	0.69	0.05	4.39	0.63	0.14	3.92	16.67	3.18	4.25
			母质层	7.11	51.57	8.79	21.84	0.34	3.52	0.77	0.06	4.24	0.65	0.15	4.01	15.59	3.19	3.89
IW <sub>4</sub>	甘肃	0—24	耕作层	8.03	52.48	8.63	21.22	0.53	3.35	0.71	0.06	4.28	0.69	0.16	4.20	16.16	3.33	3.85
			灌溉层	10.44	51.26	8.19	20.29	0.73	3.22	0.73	0.05	4.20	0.66	0.11	4.29	16.63	3.41	3.88
			下垫层	9.67	52.77	8.08	19.88	0.73	3.39	0.63	0.05	4.02	0.76	0.09	4.50	17.36	3.58	3.85
IW <sub>5</sub>	宁夏	0—19	耕作层	7.29	52.11	8.86	21.45	0.68	3.85	0.72	0.05	4.20	0.73	0.09	4.12	15.63	3.26	3.79
			灌溉层	7.66	50.33	9.99	21.45	0.68	4.15	0.80	0.06	4.10	0.62	0.18	3.98	13.39	3.07	3.36
			母质层	7.33	51.67	9.46	21.49	0.67	3.88	0.70	0.06	4.08	0.62	0.18	4.08	14.52	3.18	3.56

## (二)粘粒中元素的富集特点

在土壤形成过程中,有些元素主要在粗颗粒中富集,有些则在粘粒中富集。元素在粘粒中的富集程度可以用富集率来衡量。富集率用粘粒中氧化物的含量与土体中相同氧化物含量的比值来表示<sup>[3]</sup>。

从表3可以看出, Si在各层粘粒中不表现富集,除极个别层次外,富集率均小于1。这是因为石英富集于粗颗粒之中。但从土壤粘粒的X射线衍射图谱中可以看出, <2 $\mu$ m的粘粒中或多或少地含有某些极细的残留石英,同时 Si还存在于铝硅酸盐矿物中,因此, Si的富集率也不会太低,一般都在0.8—1.0之间。当然,砂性极大的土壤中 Si的富集率会低一些(如IW<sub>2</sub>剖面)。

表3 土壤剖面各层粘粒中元素的富集率

剖面号	采样地点	深度(cm)	Si	Fe	Al	Ca	Mg	Ti	Mn	K	Na	P
IW <sub>1</sub>	新疆 阜康县	0—12	0.88	1.30	1.47	0.08	1.19	1.27	0.50	1.16	0.32	0.62
		46—53	0.88	1.27	1.42	0.10	1.25	1.26	0.43	1.17	0.51	0.72
		77—85	0.89	1.25	1.34	0.09	1.34	1.27	0.33	0.92	0.28	0.81
IW <sub>2</sub>	新疆 策勒县	0—11	0.94	2.07	1.83	0.10	1.28	1.80	0.88	1.87	0.54	0.68
		85—122	0.90	2.41	1.84	0.08	1.32	1.85	0.88	1.81	0.50	0.52
		196—220	0.85	2.64	1.81	0.09	1.58	2.13	1.00	1.74	0.53	0.88
IW <sub>3</sub>	甘肃 武成县	0—20	0.84	1.81	1.80	0.04	1.22	1.23	0.56	1.70	0.32	0.64
		70—105	0.81	1.74	1.72	0.05	1.23	1.19	0.56	1.63	0.38	0.78
		135—160	0.84	1.88	1.75	0.06	1.20	1.31	0.60	1.74	0.39	0.88
IW <sub>4</sub>	甘肃 武成县	0—24	0.82	2.36	1.88	0.10	1.54	1.65	0.86	1.80	0.38	0.57
		60—95	0.84	2.16	1.78	0.10	0.33	1.55	0.63	1.81	0.38	0.34
		147—160	1.05	2.76	1.71	0.06	0.90	1.19	0.45	1.73	0.55	0.39
IW <sub>5</sub>	宁夏 永宁县	0—19	0.84	2.27	2.02	0.09	1.49	1.29	0.71	2.09	0.42	0.47
		19—34	0.78	3.10	2.11	0.10	1.68	1.38	0.86	2.14	0.33	0.95
		77—160	0.71	3.47	2.43	0.14	2.09	1.63	1.20	2.19	0.34	1.29

Fe在粘粒中的富集很明显,富集率均>1,甚至在2以上。各剖面之间比较, IW<sub>1</sub>剖面中铁的富集率明显小于其他剖面,同一剖面上下层之间, Fe的富集率有一定变化,尤其是潮化亚类和水耕亚类, Fe在不同层次之间的富集率变化更明显,说明其中有Fe的移动。

Al在粘粒中的富集率也大于1,这是因为Al主要存在于铝硅酸盐矿物中,因此在粘粒中富集。Al的富集率在剖面的上下层间变化小,这是因为灌淤土主要分布于温带、暖温带的干旱和半干旱地区,化学风化作用微弱,土壤中Al为惰性元素,不易迁移。

Ca在粘粒中的富集率很小,多在0.1以下,这是因为土壤中的Ca在提取粘粒的过程中淋失; Mg的富集率一般都大于1,是因为Mg主要存在于硅酸盐矿物中或被吸附,因此不易在脱CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>的过程中被淋失而富集于粘粒中。

K<sup>+</sup>和Na<sup>+</sup>在成土过程中的表现是不同的。K<sup>+</sup>在粘粒中的富集明显,除极个别层次外,富集率全都大于1,而Na<sup>+</sup>的富集率则全在0.6以下。这是因为Na易被淋失,而K则易被水云母晶穴固定。

P的富集率也都小于1,甚至<0.4。这是因为P有很大一部分以有机质的形式存在,而土体中有机质在提取粘粒的过程中被去除。检验土体中有机质含量和P的富集率之间的相关性,  $r = -0.783$  ( $n = 15, r_{0.01} = 0.641$ )说明它们在右0.01的置信水平上呈显著负相关。

同时,灌淤土中各元素在粘粒中的富集特征也和粘粒的矿质全量组成一样,在各地区之间并不表现出规律性的变化,而是和具体剖面条件有关,这与灌淤土为隐域性土壤,其粘粒

的化学组成主要受物质来源所制约是一致的。

### (三)粘粒的矿物组成

灌淤土(IW<sub>2</sub>)粘粒的X射线衍射图谱见图1。根据供试土壤的图谱判读出粘土矿物的主要成分见表4。从表4可以看出,灌淤土的主要粘土矿物基本上以水云母为主,只有IW<sub>2</sub>剖面以水云母和绿泥石为主,这和灌淤土所处的大自然区域——西北干旱区的主要粘土矿物的类型是一致的,说明灌淤土的特性仍有明显的生物气候条件的烙印,这是因为在土壤的理化性质中,粘土矿物的组成是相对稳定的特征,灌淤土的成土年龄较短,难以使这方面的性质发生改变。同时,灌淤土的物质来源也不会超出干旱地区的范围,所以其主要粘土矿物仍以水云母

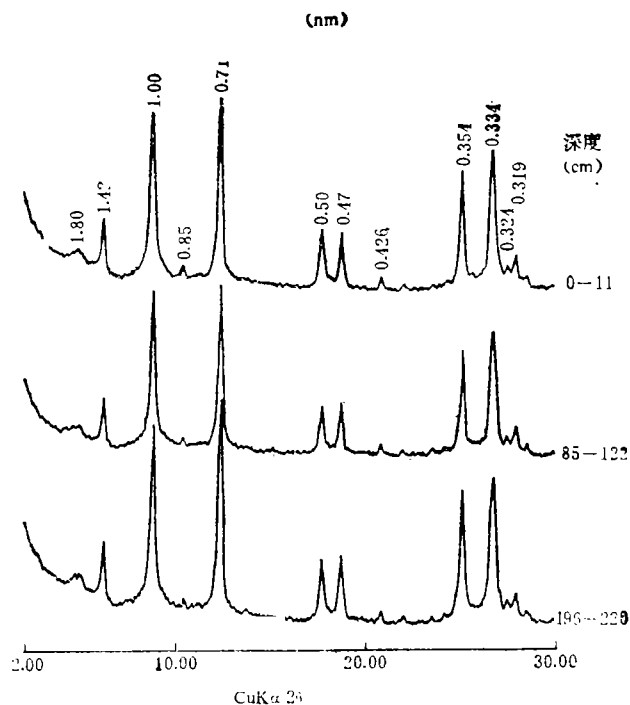


图1 IW<sub>2</sub>剖面土壤粘粒(<2μm)的X衍射图谱

表4 灌淤土粘粒(<2μm)的矿物组成

剖面号	采样地点	深度cm	发生层	主要矿物	次要矿物
IW <sub>1</sub>	新疆阜康	0—13	耕作层		较多高岭石和少量蒙皂石、绿泥石、石英、长石
		46—53	灌淤层	水云母	
		77—85	下垫土壤层		
IW <sub>2</sub>	新疆策勒	0—11	耕作层		
		85—122	灌淤层	水云母、绿泥石	少量蒙皂石、石英、长石、闪石
		196—220	母质层		
IW <sub>3</sub>	甘肃武威	0—20	耕作层		较多绿泥石和一定量的高岭石、少量蒙皂石、石英、长石
		70—105	灌淤层	水云母	
		135—160	母质层		
IW <sub>4</sub>	甘肃武威	0—24	耕作层		较多绿泥石、一定量的高岭石以及少量蒙皂石、石英、长石
		60—95	灌淤层	水云母	
		147—160	下垫土壤层		
IW <sub>5</sub>	宁夏永宁	0—19	耕作层		较多绿泥石、一定量蒙皂石、高岭石和少量石英、长石
		19—34	灌淤层	水云母	
		77—160	母质层		

为主。但另一方面由于各剖面的具体成土条件不同,使灌淤土粘土矿物的组成也有一定的差异,主要表现在其次要矿物上。最明显的是IW<sub>2</sub>剖面,绿泥石成为其主要矿物之一,此外还含有少量闪石,说明其形成物质的风化程度较弱;IW<sub>1</sub>剖面中高岭石的含量较多,而绿泥石的含量又比其他剖面少,可能和其物质来源于第三纪风化程度较高的沉积物有关;此外,IW<sub>5</sub>剖面中蒙皂石的含量明显高于其他剖面,是因为该剖面种植水稻和受地下水作用的缘故,说明农业利用方式和地下水的作用也会对灌淤土性质产生影响,因为受水的浸渍作用有利于蒙皂石的形成<sup>[4]</sup>。

此外,5个供试土壤的耕层、灌淤层和母质层(下垫土壤层)之间的粘粒的X射线衍射图谱具有很好的相似性(图1),说明它们的粘粒矿物组成也相当一致。相对来说有所差异的是IW<sub>1</sub>剖面,耕层与灌淤层及下垫土壤层相比,在1.80纳米处峰值较小,说明下面两层含有较多的蒙皂石,和这两层受地下水的作用有关。王吉智在研究宁夏灌淤土的粘土矿物中也有同样的发现<sup>[5]</sup>,说明地下水的浸渍作用使蒙皂石的含量有所增高。

### 参 考 文 献

- [1]中国科学院南京土壤研究所,土壤理化分析。上海科学技术出版社,1978。
- [2]史成华、龚子同,灌淤土的发生及其分类,中国土壤系统分类探讨,科学出版社,1992。
- [3]熊毅等,土壤胶体(等一册),科学出版社,1983。
- [4]布雷迪(南京农学院土化系译),土壤的本质与性状,科学出版社,1982。
- [5]王吉智、马玉兰、王全祥,灌淤土的分类研究,中国土壤系统分类探讨,科学出版社,1992。

(上接第195页)

### 七、结 语

上述研究表明,影响土壤环境容量的因素十分复杂,但在制定环境容量时如何综合地将这些因素的作用都考虑进去则是一个尚未解决的课题。因此,研究环境容量应立足于从分析影响因素中寻找规律,逐步完善其指标体系,以期获得更为可靠的容量值,以确保土壤生态环境的良性循环。

### 参 考 文 献

- [1]顾宗濂等,土壤环境容量研究,气象出版社,第13—139页,1986。
- [2]旭军等,土壤环境容量研究,气象出版社,第84—93页,1986。
- [3]顾淑华、罗忠艳,土壤环境容量研究,气象出版社,第94—108页,1986。
- [4] Miller, J. E. et al., Commun. Soil. Sci. plant Anal., 6: 339—347, 1975.
- [5]郑春荣、陈怀满,土壤21(1):10—14, 1989。
- [6]郑春荣、陈怀满,环境科学学报, 10(2):145—162页, 1990。