

# 湘北地区典型水稻土的发生特性及其在中国土壤系统分类中的归属<sup>①</sup>

曹 俏, 余 展, 周 清\*, 罗 卓, 欧阳宁相, 盛 浩, 张扬珠

(湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128)

**摘 要:** 选取湘北地区 7 个发育于 2 种母质的水稻土剖面样点, 通过对其成土环境、剖面形态特征以及土壤理化性质进行野外观测和室内分析, 按中国土壤系统分类方案, 检索出诊断层和诊断特性, 确定其在中国土壤系统分类中的归属, 并评述土系的生产性能。结果表明: 供试水稻土归属于水耕人为土亚纲下的筒育和铁聚水耕人为土 2 个土类, 底潜筒育水耕人为土、普通筒育水耕人为土、普通铁聚水耕人为土、漂白铁聚水耕人为土 4 个亚类; 进一步按照土族和土系划分标准, 划分出 7 个土族和 7 个土系。在相同成土环境下, 同种母质发育的水耕人为土, 土壤系统分类比土壤发生分类具有更强的划分能力。其划分的基层土壤单元(土族和土系), 对农业生产、土地资源利用更具有指导意义。

**关键词:** 水稻土; 诊断层; 诊断特性; 中国土壤系统分类

**中图分类号:** S155.3 **文献标识码:** A

湖南省作为长江中游水稻主产区, 土壤资源丰富, 类型众多, 开展水稻土系统分类研究工作尤为重要。湘北地区主要包括常德、益阳地区, 从降水量和水域面积两方面出发, 该地区相对于湖南省其他地区而言, 降水比较丰富, 水系发达, 地处洞庭湖水系, 水域面积较广。水文条件优越, 对水稻种植有一定的基础条件。长期以来, 水稻土发生分类体系在认识水稻土非地带性规律、土壤区划和制图上起过重要作用。近 40 年来, 重视定量指标的中国土壤系统分类兴起, 逐步与水稻土发生分类并行使用<sup>[1-2]</sup>。然而, 中国土壤系统分类在基层分类单元上仍有待加强。湖南省在第二次土壤普查基础上, 建立了现行的、基于发生学的 6 级分类系统; 其中, 水稻土土类包含淹育性水稻土、潜育性水稻土、漂白性水稻土、潜育性水稻土 4 个亚类、33 个土属和 162 个土种<sup>[3]</sup>。我国的土壤系统分类是最先提出水耕人为土为亚纲, 1991 年提出把水耕表层和水耕氧化还原层作为水耕人为土的诊断层<sup>[4]</sup>。研究仅在浙江<sup>[5]</sup>、湖北<sup>[6]</sup>、海南<sup>[7]</sup>、闽北<sup>[8]</sup>、长江三角洲<sup>[9]</sup>以及成都平原<sup>[10]</sup>等地有少量水稻土在系统分类中的归属研究, 这对我国占世界 1/4 的水稻土面积来说仍远远不足。近两年来, 宁夏等地探索了

典型灰钙土的发育特性及系统分类研究<sup>[11]</sup>, 以及湖南省近两年对于湘东不同母质水稻土的系统分类探索<sup>[12-14]</sup>。水稻土方面目前仅见湘西、湘南主要起源于石灰岩的烟田系统分类<sup>[15]</sup>。本研究通过对湘北地区由河湖沉积物和第四纪红土两种母质发育的典型水稻土为对象, 试图按中国土壤系统分类指标体系划分基层分类单元(土族、土系), 探索类似起源母土(母质)下基层系统分类指标, 评述土系生产性能和改良方向, 为当地农业生产和作物布局提供基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

供试水稻土分布在湘北地区的益阳和常德两市。益阳市位于湘中偏北, 跨越资水中下游, 处沅水、澧水尾间, 环洞庭湖西南, 居雪峰山的东端及其余脉, 湘中丘陵向洞庭湖平原过渡的倾斜地带。常德市位于湖南省西北部, 是江南著名的“鱼米之乡”, 处长江中游洞庭湖水系、沅江下游和澧水中下游以及武陵山脉、雪峰山脉东北端。

本区主要成土母质类型多为河湖沉积物, 部分丘陵山区有板、页岩风化物, 第四纪红色黏土, 紫色砂

基金项目: 国家科技基础性工作专项课题项目(2014FY110200)资助。

\* 通讯作者(61939295@qq.com)

作者简介: 曹俏(1993—), 女, 湖南安化人, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤地理学。E-mail: 735700591@qq.com

页岩风化物。主要土壤类型有暗黄棕壤、红壤、黄红壤、黄壤、水稻土、黑色石灰土等。

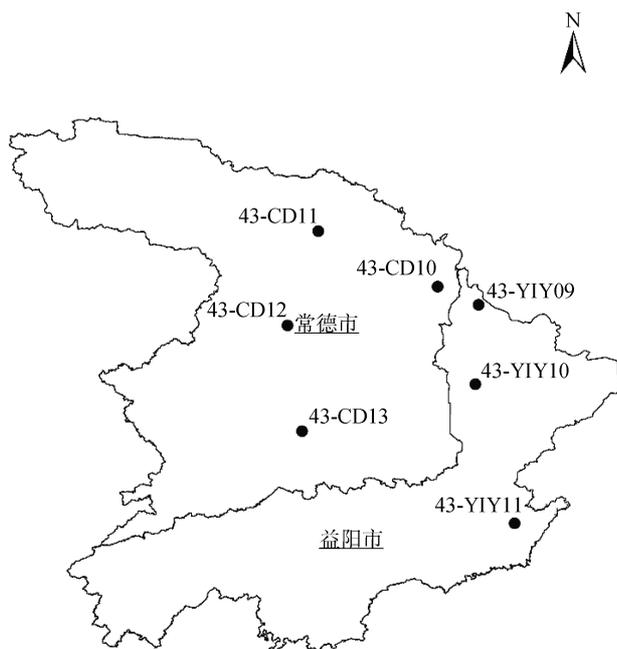
### 1.2 剖面成土环境

本研究参照《湖南土壤》<sup>[3]</sup>和《湖南土种志》<sup>[16]</sup>

中对湘北地区土壤的描述与分类以及全国第二次土壤普查数据,结合土壤分布图、土地利用现状图、高程图等,确定 7 个野外取样点。各剖面点的地理分布与剖面成土环境见表 1 和图 1。

表 1 采样点概况  
Table 1 Basic information of soil sampling sites

剖面	采样地点	海拔(m)	小地形	成土母质
43-YIY09	益阳市南县浪拔湖镇金桥村(29.3771°N、112.3645°E)	29	冲积平原	河湖沉积物
43-YIY10	益阳市沅江市草尾乡乐园村(29.0571°N、112.3519°E)	36	冲积平原	河湖沉积物
43-YIY11	益阳市赫山区泉交河镇中塘村(28.4972°N、112.5085°E)	32	环湖丘陵	第四纪红土
43-CD10	常德市安乡县深柳镇蹇家渡村(29.4502°N、112.2005°E)	30	冲积平原	河湖沉积物
43-CD11	常德市澧县澧西街道新高堰社区(29.6732°N、111.7229°E)	39	冲积平原	河湖沉积物
43-CD12	常德市临澧县太浮乡衍嗣社区(29.2932°N、111.5967°E)	70	环湖丘陵	第四纪红土
43-CD13	常德市鼎城区草坪镇放羊坪村(28.8682°N、111.6577°E)	38	环湖丘陵	第四纪红土



图例

• 益阳常德典型水稻土剖面

□ 益阳常德行政图

0 5 10 20 30 40  
km

图 1 湘北地区水稻土剖面空间分布图

Fig. 1 Sites of studied paddy soil profiles in Northern Hunan

### 1.3 土壤样品采集与室内分析

按照《野外土壤描述与采样手册》<sup>[17]</sup>要求挖掘土壤剖面,并根据土壤发生学理论进行分层,对剖面每层进行描述记载,拍照记录剖面以及周围景观。

土壤有机质测定采用重铬酸钾外加热法;全氮测

定采用凯氏定氮法;全磷测定采用碱熔-钼锑抗比色法;全钾测定采用碱熔-火焰光度法;土壤容重测定采用环刀法;机械组成测定采用吸管法,质地分类采用 USDA 分类;pH 测定采用电位法(液土比 2.5:1);阳离子交换量及交换性盐基组成测定采用乙酸铵交换法(阳离子交换总量使用凯氏定氮法,  $K^+$ 、 $Na^+$  使用火焰光度法,  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  采用 EDTA 滴定);交换性  $H^+$ 、 $Al^{3+}$  采用氯化钾交换-中和滴定法测定;全铁、铝、硅测定采用碳酸锂-硼酸熔融法;土壤游离铁测定采用连二亚硫酸钠-柠檬酸钠-重碳酸钠法(DCB 法)<sup>[18]</sup>。基于 XRD 方法和偏光显微镜鉴定法确定黏土矿物和原生矿物含量,通过颗粒大小级别确定土族控制层段内的矿物学类型。土壤温度的估算:根据经纬度、海拔推算,利用公式  $T_{soil} = 55.89 - 0.645 \times \text{纬度} - 0.004 \times \text{海拔} - 0.153 \times \text{经度}$ <sup>[19]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤剖面的形态特征

表 2 为供试土壤的剖面形态特征,表中数据表明,供试土壤剖面的润态颜色色调分别为 5YR、7.5YR、10YR,明度介于 3~7,彩度介于 3~8。土体较深厚,大多 >1.1 m,除 43-CD10,43-CD11 剖面耕作层较浅薄外,其他剖面耕作层较厚。剖面土壤结构发育明显,以块状、粒状为主,在结构体表面和管道普遍存在黏粒胶膜、铁锰胶膜和铁锰斑纹,数量从少量到多量不等,在水耕氧化还原层(Br)数量最为丰富,甚至出现铁锰结核。土体中有少量瓦片、砖块、螺壳等侵入体。土壤剖面有典型的水耕表层、水耕氧

化还原层。43-YIY11 剖面 E 层厚度 1 cm, 位于 A 层以下 60 ~ 77 cm 处, 呈波状过渡至下层, 有 85%(按体积计)的漂白物质组成, 润态明度  $6 > 3$ , 干态明度  $8 > 6$ , 满足漂白物质颜色要求; 43-CD13 剖

面 E 层厚度 1 cm, 位于 A 层以下 50 ~ 70 cm 处, 呈波状过渡至下层, 有 85%(按体积计)的漂白物质组成, 润态明度  $7 > 3$ , 干态明度  $8 > 6$ , 同样满足漂白物质颜色要求; 两者确立为漂白层。

表 2 供试土壤的剖面形态特征  
Table 2 Morphological characteristics of studied paddy soil profiles

剖面	土层厚度 (cm)	发生层	颜色 (润态)	颜色 (干态)	土壤 结构	松紧 状况	新生体	侵入体
43-YIY09	0 ~ 20	Ap	7.5YR4/6	7.5YR6/2	块状	疏松	无	无
	20 ~ 43	Br	7.5YR5/4	7.5YR7/2	块状	稍坚实	多量铁锰斑纹、多量黏粒-铁锰胶膜	少量螺壳, 贝壳
	43 ~ 80	BC	7.5YR4/4	7.5YR7/2	块状	稍坚实	多量铁锰斑纹、多量黏粒-铁锰胶膜	无
	80 ~ 100	Csg	7.5YR3/4	7.5YR6/2	块状	松散	无	无
43-YIY10	0 ~ 18	Ap1	5YR4/4	7.5YR5/4	块状	疏松	无	少量瓦片
	18 ~ 25	Ap2	5YR4/3	7.5YR7/3	块状	稍坚实	中量铁锰斑纹、中量黏粒-铁锰胶膜	少量螺壳, 瓦片
	25 ~ 40	Br1	7.5YR4/4	7.5YR6/3	粒状	疏松	中量铁锰斑纹、多量黏粒-铁锰胶膜	无
	40 ~ 60	Br2	7.5YR5/4	7.5YR6/3	粒状	稍坚	多量铁锰斑纹、多量黏粒-铁锰胶膜	无
	60 ~ 88	BC1	5YR5/3	5YR5/3	块状	稍坚	中量铁锰斑纹、多量黏粒-铁锰胶膜	无
	88 ~ 120	BC2	5YR4/4	7.5YR6/3	块状	疏松	多量铁锰斑纹、中量黏粒-铁锰胶膜	无
	43-YIY11	0 ~ 18	Ap1	7.5YR3/3	10YR6/3	块状	疏松	无
18 ~ 30	Ap2	7.5YR5/4	7.5YR6/4	块状	稍坚实	中量黏粒	少量砖片	
30 ~ 60	Br	10YR5/8	10YR6/4	块状	稍坚实	多量铁锰斑纹、多量黏粒-铁锰胶膜、中量铁锰结核	无	
60 ~ 77	E	7.5YR6/4	7.5YR8/3	块状	稍坚实	多量铁锰斑纹、多量黏粒-铁锰胶膜、中量铁锰结核	无	
77 ~ 110	Br1 <sub>1</sub>	10YR6/8	10YR8/6	块状	稍坚实	多量铁锰斑纹、多量黏粒-铁锰胶膜、中量铁锰结核	无	
110 ~ 130	Br1 <sub>2</sub>	7.5YR5/3	7.5YR7/2	块状	坚实	多量铁锰斑纹、多量黏粒-铁锰胶膜、中量铁锰结核	无	
43-CD10	0 ~ 15	Ap1	5YR2/3	7.5R4/4	块状	疏松	无	无
	15 ~ 23	Ap2	5YR4/6	5YR6/3	块状	稍坚实	无	少量螺壳
	23 ~ 70	Br1 <sub>1</sub>	7.5YR5/4	7.5YR6/3	块状	疏松	无	无
	70 ~ 90	Br1 <sub>2</sub>	7.5YR3/3	7.5YR7/2	块状	疏松	多量铁锰斑纹	无
	90 ~ 110	BC	5YR4/3	5YR6/1	块状	稍坚实	少量铁锰斑纹、中量黏粒胶膜	无
	110 ~ 140	BCg	10YR3/4	7.5YR6/1	块状	疏松	无	无
43-CD11	0 ~ 15	Ap1	10YR3/2	10YR6/3	粒状	疏松	无	少量陶瓷碎片
	15 ~ 25	Ap2	10YR3/3	10YR6/3	块状	稍坚实	无	少量陶瓷碎片
	25 ~ 60	Br1	10YR5/3	7.5YR5/3	块状	坚实	少量铁锰斑纹、多量黏粒-铁锰胶膜	无
	60 ~ 90	Br2	10YR4/4	7.5YR6/2	块状	坚实	多量铁锰斑纹、多量黏粒-铁锰胶膜	无
	90 ~ 130	Br3	10YR4/4	10YR5/4	块状	坚实	多量铁锰斑纹、多量黏粒-铁锰胶膜	无
43-CD12	0 ~ 20	Ap	7.5YR4/4	7.5YR7/3	块状	疏松	无	无
	20 ~ 32	Br	10YR5/8	10YR7/8	块状	稍坚实	多量铁锰斑纹、多量黏粒-铁锰胶膜	无
	32 ~ 60	Br2 <sub>1</sub>	10YR5/8	7.5YR8/4	块状	坚实	多量铁锰斑纹、中量黏粒-铁锰胶膜、多量铁锰结核	无
	60 ~ 90	Br2 <sub>2</sub>	7.5YR5/6	10YR7/6	块状	极坚实	多量铁锰斑纹、中量黏粒-铁锰胶膜、多量铁锰结核	无
	90 ~ 140	Br2 <sub>3</sub>	7.5YR6/6	7.5YR7/6	块状	极坚实	多量铁锰斑纹、中量黏粒-铁锰胶膜、多量铁锰结核	无
43-CD13	0 ~ 22	Ap1	10YR4/3	10YR7/3	块状	极疏松	多量铁锰斑纹	无
	22 ~ 33	Ap2	10YR4/4	10YR6/2	块状	疏松	中量铁锰斑纹	无
	33 ~ 50	Br	10YR6/8	10YR8/4	块状	稍坚实	中量铁锰斑纹、多量黏粒-铁锰胶膜	少量瓦片
	50 ~ 70	E	10YR7/4	10YR8/6	块状	坚实	多量铁锰斑纹、多量黏粒-铁锰胶膜、少量铁锰结核	无
	70 ~ 130	BrE	10YR6/4	10YR8/8	块状	极坚实	多量铁锰斑纹、多量黏粒-铁锰胶膜、多量铁锰结核	无

2.2 土壤主要理化性质

表 3 为供试土壤各发生层用于确定土系分类的相关理化性质。从表 3 可看出，质地以壤土类为主，黏粒含量介于 65.7 ~ 553.6 g/kg，剖面的黏化率介于

0.23 ~ 1.69 之间。pH 在 5.39 ~ 8.35 之间，一般为中性；随剖面加深，pH 呈升高趋势；其中 43-YIY10 剖面 pH 在 7.97 ~ 8.14 之间，偏碱性。游离氧化铁含量介于 11.36 ~ 58.57 g/kg，均值 27.61 g/kg。

表 3 供试土壤的理化性质  
Table 3 Physicochemical properties of studied paddy soil profiles

剖面	发生层	颗粒组成(g/kg)			质地	黏化率	容重 (g/cm <sup>3</sup> )	黏粒 CEC (cmol/kg)	pH (H <sub>2</sub> O)	游离 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/kg)	全铁 (g/kg)
		砂粒 2.00 ~ 0.05 mm	粉粒 0.05 ~ 0.002 mm	黏粒 <0.002 mm							
43-YIY09	Ap	198.8	651.2	342.0	粉黏壤土	1.18	60.61	7.89	26.61	59.64	
	Br	10.9	694.8	294.3	粉黏壤土	0.86	1.33	56.14	7.88	31.40	
	BC	122.0	595.1	282.8	粉黏壤土	0.83	1.17	56.64	7.84	29.20	
	Csg	385.5	537.1	77.4	粉壤土	0.23	1.32	55.49	8.04	11.36	
43-YIY10	Ap1	123.1	660.5	216.4	粉壤土	1.50	59.71	8.05	25.04	49.00	
	Ap2	149.1	602.6	248.3	粉壤土	1.15	1.53	53.86	8.05	26.05	
	Br1	120.2	657.0	222.8	粉壤土	1.03	1.47	60.69	8.11	26.59	
	Br2	177.3	562.1	260.6	粉壤土	1.20	1.31	54.55	7.97	25.76	
	BC1	202.3	583.5	214.2	粉壤土	0.99	1.58	55.77	8.01	26.25	
	BC2	174.6	619.6	205.7	粉壤土	0.95	1.29	60.77	8.14	26.61	
	43-YIY11	Ap1	70.2	591.0	338.9	粉黏壤土	0.75	54.92	5.39	33.74	41.65
43-YIY11	Ap2	26.1	640.3	333.6	粉黏壤土	0.98	1.34	41.66	6.52	38.20	
	Br	95.6	649.0	255.4	粉壤土	0.75	1.55	53.31	6.69	35.40	
	E	131.2	617.5	251.3	粉壤土	0.74	1.56	32.39	7.28	22.97	
	Br1 <sub>1</sub>	151.3	558.5	290.3	粉黏壤土	0.86	1.51	43.82	7.57	58.57	
43-CD10	Br1 <sub>2</sub>	276.4	417.9	305.7	黏壤土	0.90	1.38	81.40	7.36	47.68	
	Ap1	231.1	575.3	193.6	粉壤土	1.12	76.68	7.82	19.69	44.85	
	Ap2	386.9	490.1	122.9	壤土	0.64	1.48	62.27	7.88	18.42	
	Br1 <sub>1</sub>	513.8	420.5	65.7	砂壤土	0.34	1.31	92.48	8.35	18.03	
	Br1 <sub>2</sub>	43.7	833.0	123.3	粉壤土	0.64	1.11	65.84	8.08	21.03	
	BC	265.6	690.6	245.0	粉壤土	1.27	1.32	47.19	7.97	23.44	
	BCg	99.0	787.8	113.3	粉壤土	0.59	1.30	73.99	7.96	14.53	
43-CD11	Ap1	42.0	630.2	327.9	粉黏壤土	1.14	28.47	6.46	26.14	38.15	
	Ap2	60.2	698.6	241.2	粉壤土	0.74	1.46	48.68	6.78	26.86	
	Br1	96.7	657.0	246.3	粉壤土	0.75	1.66	58.03	7.30	28.11	
	Br2	92.2	354.1	553.6	黏土	1.69	1.54	22.04	7.55	34.98	
	Br3	42.9	710.6	246.5	粉壤土	0.75	1.57	51.22	7.50	35.49	
43-CD12	Ap	85.6	615.4	299.0	粉黏壤土	1.20	40.85	5.66	18.74	26.27	
	Br	37.5	666.1	296.4	粉黏壤土	0.99	1.67	33.55	6.36	31.08	
	Br2 <sub>1</sub>	114.3	638.8	246.9	粉壤土	0.83	1.65	37.66	6.50	29.40	
	Br2 <sub>2</sub>	55.1	664.6	280.3	粉黏壤土	0.94	1.56	32.45	6.55	27.39	
	Br2 <sub>3</sub>	103.9	693.0	203.1	粉壤土	0.68	1.59	39.31	6.70	35.18	
43-CD13	Ap1	91.8	626.7	281.5	粉黏壤土	0.94	48.47	5.97	20.28	29.01	
	Ap2	72.0	721.2	206.8	粉壤土	0.73	1.42	56.04	6.92	20.14	
	Br	56.6	705.7	237.7	粉壤土	0.84	1.55	31.47	7.01	29.41	
	E	144.2	593.6	262.2	粉壤土	0.93	1.77	33.13	7.13	20.55	
	BrE	198.4	548.3	253.3	粉壤土	0.90	1.59	32.84	7.12	31.22	

由表 3 可知, 河湖沉积物发育的水稻土(43-YIY09, 43-YIY10, 43-CD10, 43-CD11)大多在剖面水耕氧化还原层范围内游离氧化铁、全铁含量较高, 各层含量差异不明显; 而第四纪红土母质发育的水稻土(43-YIY11, 43-CD12, 43-CD13)大多在剖面底部的游离氧化铁、全铁含量高于剖面中部与上部, 各层含量差异比较明显。受侧面渗水影响, 剖面 43-YIY11 在 E 层(60~77 cm)和剖面 43-CD13 在 E 层(50~70 cm)内, 游离铁、全铁含量急剧降低, 然而在 Br1<sub>1</sub>(77~110 cm)和 BrE(70~130 cm)内急剧增多。游离氧化铁含量与全铁含量之间的变化趋势呈

显著线性正相关关系。

### 2.3 供试土壤的诊断层与诊断特性

按《中国土壤系统分类检索(第三版)》<sup>[20]</sup>中诊断层、诊断特性及控制层段的标准, 7 个样点剖面都具备水耕表层的诊断表下层, 都具有水耕氧化还原层的诊断表下层(表 4)。

### 2.4 供试土壤在中国土壤系统分类中的归属

2.4.1 高级分类单元划分 参照《中国土壤系统分类检索(第三版)》<sup>[20]</sup>对土壤高级分类单元的划分标准, 检索供试土壤的诊断层与诊断特性, 7 个剖面均属于人为土土纲、水耕人为土亚纲(表 5)。

表 4 供试土壤诊断层与诊断特性

Table 4 Diagnostic horizons and diagnostic characteristics of studied paddy soil profiles

剖面	水耕表层	水耕氧化还原层	耕作淀积层	漂白层	氧化还原特征	潜育特征	铁质特性	人为滞水土壤水分状况	热性土壤温度状况
43-YIY09	√	√			√	√	√	√	√
43-YIY10	√	√	√		√		√	√	√
43-YIY11	√	√	√	√	√		√	√	√
43-CD10	√	√	√		√	√	√	√	√
43-CD11	√	√	√		√		√	√	√
43-CD12	√	√			√		√	√	√
43-CD13	√	√	√	√	√		√	√	√

表 5 供试土壤在系统分类高级分类单元的归属

Table 5 Attribution of studied paddy soil profiles in Chinese Soil Taxonomy

剖面	土纲	亚纲	土类	亚类
43-YIY09	人为土	水耕人为土	筒育水耕人为土	底潜筒育水耕人为土
43-YIY10	人为土	水耕人为土	筒育水耕人为土	普通筒育水耕人为土
43-YIY11	人为土	水耕人为土	铁聚水耕人为土	漂白铁聚水耕人为土
43-CD10	人为土	水耕人为土	筒育水耕人为土	普通筒育水耕人为土
43-CD11	人为土	水耕人为土	筒育水耕人为土	普通筒育水耕人为土
43-CD12	人为土	水耕人为土	铁聚水耕人为土	普通铁聚水耕人为土
43-CD13	人为土	水耕人为土	铁聚水耕人为土	漂白铁聚水耕人为土

7 个典型水稻土剖面的水耕表层之下均无灰色铁渗亚层, 因此均不属铁渗水耕人为土类。43-YIY11、43-CD12、43-CD13 剖面水耕氧化还原层的游离氧化铁含量为耕作层的 1.5 倍以上, 应属铁聚水耕人为土类; 其余 43-YIY09、43-YIY10、43-CD10 和 43-CD11 剖面均属于筒育水耕人为土类。筒育水耕人为土类中, 43-YIY09 剖面土表 60~100 cm 范围内部分土层有潜育特征, 因此属于底潜筒育水耕人为土; 43-YIY10、43-CD10、43-CD11 剖面均无变性现象、盐积现象和人为复石灰作用, 剖面垂直 60 cm 范围内也无漂白层, 因此 43-YIY10、43-CD10、43-CD11 剖面均属普通筒育水耕人为土亚类。铁聚水耕人为土

类中, 43-CD12 剖面无变性现象和潜育特征, 剖面垂直 60 cm 范围内也无漂白层, 因此属普通铁聚水耕人为土亚类; 43-YIY11 和 43-CD13 剖面, 矿质土表层 60 cm 范围内有漂白层, 因此属于漂白铁聚人为水耕土(表 5)。

2.4.2 基层分类单元划分 1) 土族划分。参照中国土壤系统分类土族和土系划分标准<sup>[21]</sup>, 土族控制层段为从诊断表下层的上界或从表土层、耕作层的下界往下至 100 cm 深处, 或至浅于 100 cm 的根系限制层上界或石质接触面。在划定土族控制层段的基础上, 以供试土壤控制层段内的颗粒大小级别、矿物学类型、土壤温度状况以及石灰性的有无为依据进行划分。

根据中国土壤系统分类土族和土系划分标准<sup>[21]</sup>对研究区内 7 个典型水稻土剖面的土族控制层段的土壤颗粒大小级别进行划分(表 6)。颗粒大小级别：除 43-CD10 剖面，其他剖面的土族控制层段的黏粒含量介于 200 ~ 350 g/kg，划分为黏壤质。其中，43-CD11 在颗粒大小控制层段内，Br1 的黏粒绝对含量为 246.3 g/kg，Br2 的黏粒绝对含量为 553.6 g/kg，黏粒绝对含量之差 > 250 g/kg，且两层厚度都 10 cm，形成强对比颗粒大小级别，根据检索出的颗粒大小级别复合命名，为黏壤质盖黏质。石灰性反应：

依据研究区内 7 个剖面的土族控制层段的石灰性和土壤酸碱反应级别进行依次划分，7 个剖面均没有铝质和石灰性，用水提法测试土壤 pH，7 个剖面控制层段的部分或全部 pH 5.5，为非酸性。矿物学类型：7 个剖面的颗粒大小级别分别为壤质和黏壤质，因此从上到下查看适用于所有颗粒大小级别或砂质、黏壤质颗粒大小级别的矿物学类型，7 个剖面均属硅质混合型。土壤温度状况：按张慧智等<sup>[19]</sup>的方法，得到 7 个剖面 50 cm 处土温介于 19.9 ~ 20.0，检索土壤温度状况属于热性。

表 6 供试土壤土族控制层段内鉴别特征  
Table 6 Identification characteristics of soil families in control sections of studied paddy soil profiles

剖面	土族控制层段(cm)	岩石碎屑含量(g/kg)	黏粒含量(g/kg)	颗粒大小	矿物类型	石灰性及酸碱度	土壤温度
43-YIY09	20 ~ 100	0	234.7	黏壤质	硅质混合型	非酸性	热性
43-YIY10	25 ~ 100	0	226.9	黏壤质	硅质混合型	非酸性	热性
43-YIY11	30 ~ 100	0	265.9	黏壤质	硅质混合型	非酸性	热性
43-CD10	23 ~ 100	0	103.9	壤质	硅质混合型	非酸性	热性
43-CD11	25 ~ 100	0	369.2	黏壤质盖黏质	硅质混合型	非酸性	热性
43-CD12	20 ~ 100	0	236.0	黏壤质	硅质混合型	非酸性	热性
43-CD13	33 ~ 100	0	274.4	黏壤质	硅质混合型	非酸性	热性

根据以上指标，将供试 7 个剖面划分为 7 个土族(表 7)：黏壤质硅质混合型非酸性热性-底潜筒育水耕人为土(43-YIY09)，黏壤质硅质混合型非酸性热性-普通筒育水耕人为土(43-YIY10)，黏壤质硅质混合型非酸性热性-漂白铁聚水耕人为土(43-YIY11)，壤质

硅质混合型非酸性热性-普通筒育水耕人为土(43-CD10)，黏壤质盖黏质硅质混合型非酸性热性-普通筒育水耕人为土(43-CD11)，黏壤质硅质混合型非酸性热性-普通铁聚水耕人为土(43-CD12)，黏壤质硅质混合型非酸性热性-漂白铁聚水耕人为土(43-CD13)。

表 7 供试土壤土系划分依据  
Table 7 Identification bases of soil series of studied paddy soil profiles

剖面	土壤剖面特征	土族	土系
43-YIY09	土系控制层段 0 ~ 100 cm，表层质地为粉质黏壤土，土体色调为 7.5YR	黏壤质硅质混合型非酸性热性-底潜筒育水耕人为土	金桥系
43-YIY10	土系控制层段 0 ~ 120 cm，表层质地为粉质壤土，土体色调以 7.5YR 为主	黏壤质硅质混合型非酸性热性-普通筒育水耕人为土	乐园系
43-YIY11	土系控制层段 0 ~ 130 cm，表层质地为粉质黏壤土，土体色调以 7.5YR 为主	黏壤质硅质混合型非酸性热性-漂白铁聚水耕人为土	中塘系
43-CD10	土系控制层段 0 ~ 140 cm，表层质地为粉质壤土，土体色调以 7.5YR 为主	壤质硅质混合型非酸性热性-普通筒育水耕人为土	蹇家渡系
43-CD11	土系控制层段 0 ~ 130 cm，表层质地为粉质黏壤土，土体色调以 10YR 为主	黏壤质盖黏质硅质混合型非酸性热性-普通筒育水耕人为土	新高堰系
43-CD12	土系控制层段 0 ~ 140 cm，表层质地为粉质黏壤土，土体色调以 7.5YR 为主	黏壤质硅质混合型非酸性热性-普通铁聚水耕人为土	衍嗣系
43-CD13	土系控制层段 0 ~ 130 cm，表层质地为粉质黏壤土，土体色调以 10YR 为主	黏壤质硅质混合型非酸性热性-漂白铁聚水耕人为土	放羊坪系

(2) 土系划分。土系是土壤系统分类中最基层的划分单元, 是土壤的全息身份证, 包含了该类土壤最基本信息。通过《中国土壤系统分类土族和土系的划分标准》<sup>[21]</sup>, 属于不同亚类和不同土族的, 自然可划分为不同的土系; 属于同一土族的, 则需依据特定土层的深度和厚度, 表层土壤的质地, 土系控制层段中岩石碎屑、结核、侵入体等特征差异进行土系划分。参照土系划分标准<sup>[21]</sup>, 供试土壤的土系划分结果见表 7。

### 3 讨论

#### 3.1 母质与人为耕作对土壤发生特性和高级分类单元的影响

由表 1 可知, 剖面 43-YIY09、43-YIY10、43-CD10、43-CD11 由河湖沉积物发育, 质地适中, 因此土壤通透性和耕性较好, 质地多为粉壤土, 黏粒含量多 250 g/kg。由于人为耕作时间较短, 受人为灌溉、施肥作用较弱, 导致剖面物质淋溶迁移较弱, 氧化还原作用不强, 氧化还原层铁、锰离子淋溶沉积缓慢, 铁游离度均 < 70%, 土壤剖面大多不具有铁锰结核, 黏粒 CEC 含量大多为 50 ~ 100 cmol(+)/kg 黏粒。因供试土壤大多 pH 7.5, 土壤可变负电荷较高, 所以与第四纪红土发育的土壤相比, CEC 含量较高, 多为 11.95 ~ 25.21 cmol(+)/kg。因此土壤发育不成熟, 除 43-CD11 外其余均具有未发育完全的 BC 层; 虽 43-CD11 未有 BC 层, 但其氧化还原层分异也不明显, 因此多发育为筒育水耕人为土土类。

43-YIY11、43-CD12、43-CD13 由第四纪红土发育, 因此质地较黏, 质地多为粉黏壤, 黏粒含量多在 250 ~ 400 g/kg 左右, 通透性和耕性较差, 保水保肥。另外, 由于受人为耕作时间较强, 经过长期施肥和灌溉使土体氧化还原和物质淋溶沉积剧烈, 因此剖面层次分异更清晰, 大多具有氧化亚层及还原亚层, 土壤发育成熟, 黏粒 CEC 含量大多为 30 ~ 50 cmol(+)/kg。且由于均处于环湖丘陵, 海拔、部位较低, 地下水位多出现在 1 m 以上, 地下水、地表水综合作用, 氧化还原层铁锰等反应剧烈, 淋溶沉积较富集, 剖面多有铁锰结核存在, 铁游离度均 > 70%, 因此多发育为铁聚水耕人为土土类。剖面 43-YIY11、43-CD13 受侧面渗水的影响, 漂白层中游离氧化铁大量淋失, 漂白层下层也有大量铁胶膜、斑纹、结核存在, 其游离铁含量相对表层游离铁含量 > 1.5 倍, 因此划分为漂白铁聚水耕人为土亚类。

#### 3.2 湘北地区水稻土发生分类与中国系统分类的参比

按发生学分类, 7 个水稻土典型水耕人为土归属

人为土土纲, 水稻土土类, 潜育性水稻土(43-YIY09, 43-YIY10, 43-CD10, 43-CD11)和漂白性水稻土(43-YIY11, 43-CD12, 43-CD13) 2 个亚类, 紫潮泥、白散泥、河沙泥田 3 个土属, 紫潮泥(43-YIY09, 43-CD10)、紫潮沙泥(43-YIY10)、铁子白散泥(43-YIY11)、河沙泥(43-CD11)、白散泥(43-CD12, 43-CD13) 5 个土种。在系统分类中, 7 个样点土壤剖面分别归属人为土土纲, 水耕人为土亚纲, 铁聚水耕人为土(43-YIY11、43-CD12、43-CD13)和筒育水耕人为土土类(表 5), 在基层单元上分出 7 个土族和 7 个土系(表 7)。然而, 发生学分类土种性状变幅大, 尤其是未量化考虑的形态学特征指标。而土壤系统分类是遵循土壤发生学理论的基础上, 加之重视土壤本身性质, 以定量的诊断层和诊断特性为依据, 划分土壤类型。由于划分原则、标准不同, 可能将发生分类的土种参比到较多数量的土系类型, 所以土种参比土系时需谨慎。

按照土族土系划分标准, 将供试水稻土划分出 7 个土族和 7 个土系, 能敏感表征土体发育程度、物质组成等突变差异, 显示出系统分类指标较强的基层分类能力, 对当地农业生产具有指导意义。

#### 3.3 湘北地区水稻土土族和土系的生产性能

土族和土系的划分主要服务于生产实践。湘北地区所建立的 7 个土系土质地好, 耕性好, 但普遍地势较低, 应改善排水条件, 深沟排水, 降低渍害, 尤其是金桥系、乐园系、中塘系。

土壤肥力是衡量土壤作为农业生产基地进行农作物生产能力的重要指标<sup>[22]</sup>, 是土壤的本质属性和主要功能<sup>[23]</sup>, 科学评价土壤肥力可以更好地利用土地资源, 可为调整作物布局和科学合理施肥提供依据。而土壤养分等肥力指标是土壤肥力的物质基础, 其丰缺状况直接影响作物产量和品质<sup>[24]</sup>。参照第二次土壤普查的水田土壤生产性能评价标准<sup>[25]</sup>, 有机质含量在 25 ~ 38 g/kg 之间为有机质含量高, 属于高产水稻土。湘北地区所建立 7 个土系耕层剖面的有机质丰富(表 8), 有机质含量在 19.84 ~ 47.96 g/kg, 其中金桥系、中塘系、放羊坪系有机质含量分别为 42.88, 47.96, 43.55 g/kg, 有机质含量极高; 衍嗣系 30.76 g/kg, 有机质含量高; 蹇家渡系、新高堰系分别为 29.67、22.41 g/kg, 有机质含量适宜; 乐园系有机质含量为 19.84 g/kg, 可增施有机肥和实行秸秆还田以培肥土壤。

耕层全氮变化范围为 1.24 ~ 2.80 g/kg, 均无缺乏氮肥的现象, 其中, 金桥系、中塘系、蹇家渡系、放

羊坪系，氮肥含量都偏高，生产中应考虑适当减少氮肥投入。耕层全磷变化范围为 1.11 ~ 2.49 g/kg，土壤剖

面耕层钾肥范围为 8.17 ~ 16.02 g/kg，含量都偏低，应增施磷肥和钾肥，科学补充磷、钾素，改善土壤结构。

表 8 供试土壤剖面养分含量  
Table 8 Soil nutrient contents of studied paddy soil profiles

土系	发生层次	深度(cm)	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	全钾(g/kg)
金桥系	Ap	0 ~ 20	42.88	2.80	2.49	16.02
	Br	20 ~ 43	17.17	1.10	1.36	16.68
	BC	43 ~ 80	16.71	0.82	1.48	16.67
	Csg	80 ~ 100	5.10	0.14	1.42	11.91
乐园系	Ap1	0 ~ 18	19.84	1.24	2.46	13.28
	Ap2	18 ~ 25	15.71	1.05	2.51	13.82
	Br1	25 ~ 40	18.00	1.17	2.67	12.06
	Br2	40 ~ 60	18.95	1.71	2.16	14.15
	BC1	60 ~ 88	14.96	2.25	1.95	14.53
	BC2	88 ~ 120	12.53	0.74	1.55	12.40
中塘系	Ap1	0 ~ 18	47.96	2.65	2.02	8.17
	Ap2	18 ~ 30	23.27	1.39	1.33	8.90
	Br	30 ~ 60	11.60	0.65	0.92	9.24
	E	60 ~ 77	5.97	1.69	0.63	8.20
	Br1 <sub>1</sub>	77 ~ 110	7.28	0.47	0.78	8.18
	Br1 <sub>2</sub>	110 ~ 130	7.78	0.51	0.9	9.58
蹇家渡系	Ap1	0 ~ 15	29.67	2.75	2.18	12.06
	Ap2	15 ~ 23	22.45	0.78	1.34	11.36
	Br1 <sub>1</sub>	23 ~ 70	5.55	0.30	1.29	12.06
	Br1 <sub>2</sub>	70 ~ 90	9.12	1.62	1.36	13.12
	BC	90 ~ 110	14.45	0.81	1.44	14.87
	BCg	110 ~ 140	13.26	0.62	1.36	12.76
新高堰系	Ap1	0 ~ 15	22.41	1.40	1.11	9.59
	Ap2	15 ~ 25	11.93	0.87	0.89	9.24
	Br1	25 ~ 60	6.38	0.95	0.56	11.36
	Br2	60 ~ 90	5.71	0.34	0.68	11.36
	Br3	90 ~ 130	5.91	0.43	0.91	11.69
衍嗣系	Ap	0 ~ 20	30.76	1.77	1.47	8.88
	Br	20 ~ 32	10.93	0.75	0.72	8.90
	Br2 <sub>1</sub>	32 ~ 60	7.24	0.53	0.71	8.88
	Br2 <sub>2</sub>	60 ~ 90	6.90	0.47	0.56	8.88
	Br2 <sub>3</sub>	90 ~ 140	3.41	0.30	0.56	8.18
放羊坪系	Ap1	0 ~ 22	43.55	2.32	1.28	8.17
	Ap2	22 ~ 33	22.34	1.24	0.69	9.23
	Br	33 ~ 50	5.53	0.50	0.53	9.58
	E	50 ~ 70	3.50	0.47	0.42	9.23
	BrE	70 ~ 130	3.50	0.37	0.59	9.58

#### 4 结论

湘北地区 7 个典型水稻土剖面中,在水耕人为土亚纲下,划分出筒育和铁聚水耕人为土 2 个土类,底

潜筒育水耕人为土、普通筒育水耕人为土、普通铁聚水耕人为土和漂白铁聚水耕人为土 4 个亚类,进一步划分出 7 个土族和 7 个土系(金桥系、乐园系、中塘系、蹇家渡系、新高堰系、衍嗣系和放羊坪系)。同

一地区类似母土/母质发育的水耕人为土,系统分类的定量化指标(颗粒大小级别和质地层次差异)比发生分类的定性判定具有更强的划分能力,有效反映基层土壤类型(土族、土系)的生产性能,对当地农作物生产和土壤改良更具有指导意义。

#### 参考文献:

- [1] Gong Z T. Origin, evaluation and classification of paddy soils in China[J]. *Advance in Soil Science*, 1986, 5: 179-200
- [2] Shi X, Yu D, Xu S, et al. Cross-reference for relating genetic soil classification of China with WRB at different scales[J]. *Geoderma*, 2010, 155: 344-350
- [3] 湖南省农业厅. 湖南土壤[M]. 北京: 农业出版社, 1989
- [4] 四川省农牧厅, 四川省土壤普查办公室. 四川土壤[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1995
- [5] 魏孝孚, 章明奎, 历仁安. 浙江衢县样区土系的划分[J]. *土壤*, 2001, 33(1): 26-31
- [6] 秦聪. 江汉平原典型水耕人为土土系划分及其有机质垂直分布规律研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013
- [7] 龚子同, 张甘霖, 漆智平. 海南岛土系概论[M]. 北京: 科学出版社, 2004
- [8] 黄佳鸣, 麻万诸, 章明奎. 闽北地区水耕人为土的发生与系统分类研究[J]. *土壤通报*, 2013, 44(4): 770-775
- [9] 杜国华, 张甘霖, 龚子同. 长江三角洲水稻土主要土种在中国土壤系统分类中的归属[J]. *土壤*, 2007, 39(5): 684-691
- [10] 王振健. 成都平原主要水耕人为土土系划分研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2002
- [11] 曲潇琳, 龙怀玉, 谢平, 等. 宁夏中部地区典型灰钙土的发育特性及系统分类研究[J]. *土壤学报*, 2018, 55(1): 75-87
- [12] 欧阳宁相, 张杨珠, 盛浩, 等. 湘东地区花岗岩红壤在中国土壤系统分类中的归属[J]. *土壤*, 2017, 49(4): 828-837
- [13] 彭涛, 欧阳宁相, 张亮, 等. 湘东板页岩发育水耕人为土的土系分类初探[J]. *湖南农业科学*, 2017(5): 43-47, 52
- [14] 彭涛, 欧阳宁相, 张亮, 等. 湘东花岗岩发育水稻土在中国系统分类中的归属[J]. *浙江农业学报*, 2017, 29(10): 1726-1732
- [15] 庄云, 武小净, 李德成, 等. 湘南和湘西烟田土壤系统分类及其与烤烟香型之间的关系[J]. *土壤*, 2014, 46(1): 151-157
- [16] 湖南省农业厅. 湖南土种志[M]. 北京: 农业出版社, 1987
- [17] 张甘霖, 李德成. 野外土壤描述与采样手册[M]. 北京: 科学出版社, 2017
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [19] 张慧智, 史学正, 于东升, 等. 中国土壤温度的空间预测研究[J]. *土壤学报*, 2009, 46(1): 2-7
- [20] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组, 中国土壤系统分类课题研究协作组. 中国土壤系统分类检索[M]. 3 版. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001
- [21] 张甘霖, 王秋兵, 张凤荣, 等. 中国土壤系统分类土族和土系的划分标准[J]. *土壤学报*, 2013, 50(7): 826-834
- [22] 王洋, 齐晓宁. 德惠市农田黑土肥力评价及施肥措施研究[J]. *中国生态农业学报*, 2007, 15(2): 26-30
- [23] 崔潇潇, 高原, 吕贻忠. 北京市大兴区土壤肥力的空间变异[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(9): 327-333
- [24] 张杨珠, 黄运湘, 王翠红, 等. 菜园土壤肥力特征与蔬菜硝酸盐污染的控制技术[J]. *湖南农业大学学报: 自然科学版*, 2004, 30(3): 229-232
- [25] 全国土壤普查办公室. 中国土壤普查技术[J]. 北京: 农业出版社, 1992

## Genetic Characteristics of Paddy Soils in Northern Hunan and Their Attribution in Chinese Soil Taxonomy

CAO Qiao, YU Zhan, ZHOU Qing<sup>\*</sup>, LUO Zhuo, OUYANG Ningxiang, SHENG Hao, ZHANG Yangzhu  
(College of Resources & Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**Abstract:** Seven typical paddy soil profiles derived from two parent materials were selected in Northern Hunan Province, soil form environment, profile morphological characteristics and physicochemical properties were observed and analyzed, the diagnostic horizons, diagnostic characteristics and attribution of these soil profiles were identified according to Chinese Soil Taxonomy. The results showed that those paddy soils belonged to two groups of Hapli-Stagnic Anthrosols and Fe-accumuli-Stagnic Anthrosols, and four subgroups of Endogleyic Hapli-Stagnic Anthrosols, Typic Hapli-Stagnic Anthrosols, Typic Fe-accumuli-Stagnic Anthrosols and Albic Fe-accumuli-Stagnic Anthrosols. According to the classification standards for Chinese soil family and soil series, seven soil families were identified and seven soil series were established for those paddy soils. Compared with Soil Genetic Classification, Soil Taxonomy can differentiate further paddy soils in the same form environment, and the established soil families and soil series are more quantitative and more conducive to agricultural production and land use.

**Key words:** Paddy soil; Diagnostic horizon; Diagnostic characteristics; Chinese Soil Taxonomy