

翟 橙,周 清,张伟畅,等. 湖南长沙地区第四纪红土发育的水稻土在中国土壤系统分类中的归属[J]. 江苏农业科学,2018,46(3):224-230.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.03.057

湖南长沙地区第四纪红土发育的水稻土 在中国土壤系统分类中的归属

翟 橙¹,周 清¹,张伟畅¹,冯 旖¹,盛 浩^{1,2},欧阳宁相¹,张杨珠^{1,2}

(1. 湖南农业大学资源环境学院,湖南长沙 410128; 2. 湖南农业大学土壤研究所,湖南长沙 410125)

摘要:为研究湖南省长沙市第四纪红土发育的水稻土在中国土壤系统分类中的归属,选取该市 5 个由第四纪红土发育的典型水稻土剖面,通过采样点成土环境调查、土壤剖面形态描述以及供试土壤理化性质分析,参照《中国土壤系统分类(修订方案)》,检索出供试土壤的诊断层与诊断特性,并确定其在中国土壤系统分类中的位置。结果表明,在水耕人为土亚纲下,划分出铁聚水耕人为土和简育水耕人为土等 2 个土类,普通铁聚水耕人为土和普通简育水耕人为土 2 个亚类,进一步划分出黏壤质混合型非酸性热性-普通简育水耕人为土、沙质混合型非酸性热性-普通简育水耕人为土、黏壤质混合型非酸性热性-普通铁聚水耕人为土等 3 个土族,构建金鼎山系、凌茭系、罗巷新系、白玉系、马战系等 5 个土系。以上分类结果说明,系统分类的颗粒大小级别和质地层次差异等定量化指标判定与发生分类的定性判定相比具有更强的区分能力,能更有效地反映基层土壤类型的生产性能,对当地农作物生产和土壤改良更具有指导意义。

关键词: 稻土;水耕人为土;诊断层;诊断特性;中国土壤系统分类

中图分类号: S155;X142 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)03-0224-07

水稻土是在植稻或以植稻为主的耕作制度下,经长期人为活动,使土壤发生一系列独特变化而形成的一种土壤,是在土壤经常处于淹水还原、排水氧化、水耕黏闭,以及大量施用有机肥料等频繁人为管理措施的影响下形成的^[1]。水稻土是重要的耕地资源,对我国的粮食生产起重要的支撑作用。我国水稻土面积约为 3 000 万 hm^2 ,占全国耕地面积的 25.35%,占世界水稻土总面积的 23.00%。我国水稻土因在不同生物气候带的广泛分布而具有多样性的特点,一方面具有在人为长期利用和管理条件下所形成的一系列共性,另一方面因受不同生物气候条件和成土母质类型等自然因素的影响而不同程度地保留着各种母土或母质的特征^[1]。

我国是最早研究水稻土的国家之一,早在 20 世纪 30 年代,朱莲青首次提出水稻土剖面结构、层次划分的方法^[1]。龚子同依据水稻土形成的本质特点,按照氧化还原过程把水稻土划分为氧化还原型、氧化型、还原型^[2],为后来的水稻土

系统分类打下了坚实的基础^[3]。我国水稻土分类先后经历了水分类型发生分类、地理发生分类和氧化还原发生分类等 3 个阶段,许多研究者就水稻土发生学分类进行了深入的研究^[4-6]。20 世纪 80 年代以后,我国的土壤分类进入了以诊断层和诊断特性为基础的系统分类阶段,实现了从定性向定量的跨越^[7]。近半个世纪以来,我国对水稻土理化性质的研究已经取得有效的进展,我国水耕土分类已经走在世界前列,虽然水耕土系统高级分类已很完善,但基层分类还处在基础阶段,在土系指标的定量化、命名等方面还没有统一的标准^[8]。当前,水稻土的基层分类和土系调查多集中在东部地区,其中包括长江三角洲^[9]、浙江省^[10-11]、福建省^[12]、湖北省^[13-14]、海南省^[15]、四川省^[16-17]等。水稻土的成土母质通过影响土壤质地使其发育和理化性质发生变化。颗粒大小级别和质地差异是水稻土基层分类的主要指标^[18],但目前在相同母质条件下,颗粒大小级别在水稻土基层分类指标中所起作用的相关研究仍较少,因此有待更深入的研究。

水稻土是湖南省重要的粮食、多种经济作物的生产基地,稻田面积约为 275.6 万 hm^2 ,占全省耕地面积的 79%。本研究以长沙地区起源于第四纪红土的水稻土为研究对象,探索类似起源土壤条件下的基层系统分类指标,建立代表性土族和土系,评述土系的生产性能,以期与当地农业生产和作物布

收稿日期:2017-06-16

基金项目:国家科技基础性工作专项(编号:2014FY110200A15)。

作者简介:翟 橙(1993—),女,湖南湘西人,硕士研究生,从事土壤可持续利用研究。E-mail:121067150@qq.com。

通信作者:周 清,博士,教授,主要从事农业资源利用与遥感信息技术应用及水土保持研究。E-mail:61939295@qq.com。

气象灾害动态及其影响分析[J]. 气候变化研究进展,2015,11(2):123-130.

[30]杨尚英,张梅梅,杨玉玲. 近 10 年来我国农业气象灾害分析[J]. 江西农业学报,2007,19(7):106-108.

[31]王春乙,娄秀荣,王建林. 中国农业气象灾害对作物产量的影响[J]. 自然灾害学报,2007,16(5):37-43.

[32]张桂香,霍治国,吴 立,等. 1961—2010 年长江中下游地区农业洪涝灾害时空变化[J]. 地理研究,2015,34(6):1097-1108.

[33]邓 勃. 分析测试数据的统计处理方法[M]. 北京:清华大学出版社,1995:96-97.

[34]陈学君,苏仲岳,李仲龙,等. 年降水量数据的正态变换方法对比分析[J]. 干旱气象,2012,30(3):459-464.

局提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况与成土环境

湖南省长沙市作为省会城市,位于湘江下游和湘浏盆地的西缘,湖南省东部偏北地区(111°53′~114°15′E,27°51′~28°41′N)。全市辖芙蓉、天心、岳麓、开福、雨花和望城等 6 个城区,长沙、宁乡等 2 个县以及浏阳市。长沙市属典型的中亚热带湿润季风气候,气候温和,热量丰富,降水充沛,阳光充

足,日照长,四季分明,生长季长。年平均气温为 17.2℃;1 月平均气温最低,为 4~5℃;7 月平均气温最高,为 29~31℃;≥10℃ 积温达 5 457℃;年平均日照时数为 1 500~1 850 h;年平均降水量为 1 361 mm。

长沙地区成土母质类型多样,主要成土母质包括花岗岩风化物、板、页岩风化物,砂岩风化物,第四纪红色黏土,石灰岩风化物,紫色砂页岩风化物,河湖沉积物等 7 类。主要土壤类型有红壤、黄壤、水稻土、紫色土、潮土等。长沙地区典型水稻土的剖面空间分布见图 1。

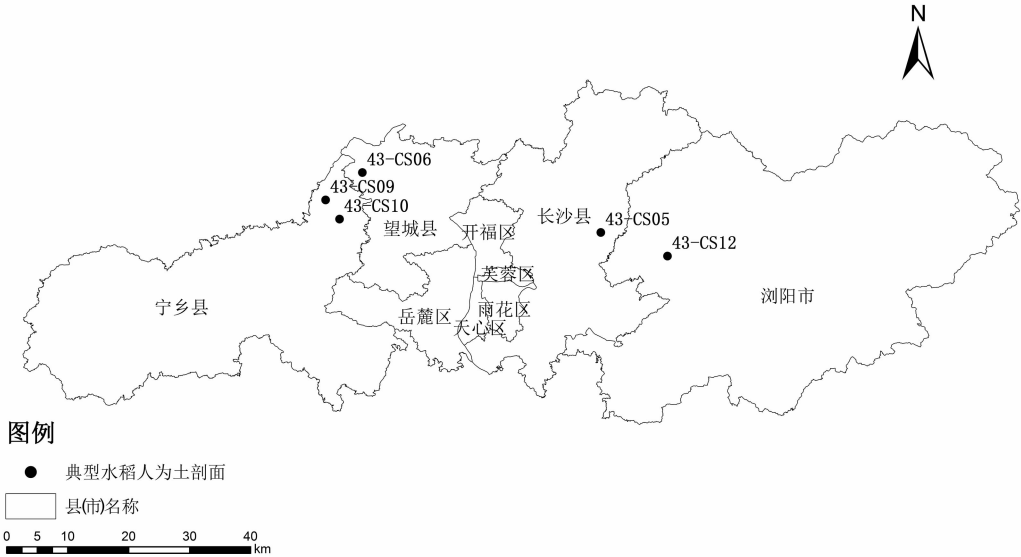


图1 长沙地区典型水稻土剖面空间分布

1.2 样品采集与室内分析

本研究参照《湖南土种志》^[19]和《湖南土壤》^[20]对第四纪红土的描述与分类以及全国第 2 次土壤普查数据,结合母质分布图、土地利用现状图、高程图、交通图等确定 5 个水稻土野外取样点,其中第四纪红色黏土的分布信息与剖面成土环境见表 1。

在取样点依照中西部土系调查《野外土壤描述与采样手册》挖掘标准土壤剖面,并根据土壤发生学理论进行分层,对土壤剖面进行描述,拍照记录剖面及周围景观。

土壤容重的测定采用环刀法;机械组成的测定采用吸管

法,质地分类参照美国农业部(United States Department of Agriculture)分类标准;pH 值的测定采用电位法(液土体积比 2.5:1);阳离子交换量及交换性盐基组成的测定采用乙酸铵交换法[阳离子交换总量的测定采用凯氏定氮法;交换性 K⁺、Na⁺ 含量的测定采用火焰光度法;交换性 Ca²⁺、Mg²⁺ 含量的测定采用乙二醇四乙酸(ethylene diamine tetraacetic acid,简称 EDTA)滴定法];土壤游离铁含量的测定采用连二亚硫酸钠-柠檬酸钠-重碳酸钠法^[21]。根据经纬度、海拔推算土壤温度,具体计算公式为:

$$T_{\text{soil}} = 55.89 - 0.645 \times \text{纬度} - 0.004 \times \text{海拔} - 0.153 \times \text{经度}^{[22]}。$$

表 1 采样点概况

剖面编号	剖面构型	采样地点	海拔(m)	地形部位(小地形)
43-CS05	Ap1-Ap2-Br1-Br21-Br22-C	长沙县春华镇金鼎山村青雅组(28.304076°N,113.261372°E)	49	低丘沟谷地
43-CS06	Ap1-Ap2-Br1-Br21-Br22-C1-C2	望城区格塘镇凌茯村横塘组(28.445379°N,112.695505°E)	31	低丘阶地
43-CS09	Ap1-Ap2-B-Br1-Brg-Br2	宁乡县朱良桥乡罗巷新村新婆冲组(28.380780°N,112.608153°E)	72	低丘沟谷地
43-CS10	Ap1-Ap2-Br1-Br2-C1-C2	宁乡县双江口镇白玉村肉铺组(28.335466°N,112.641394°E)	39	低丘阶地
43-CS12	Ap1-Ap2-B-Br-BC-C	浏阳市北盛镇马战村先进组(28.248340°N,113.419746°E)	55	低丘阶地

注:Ap1 为耕作层;Ap2 为犁地层;Br 为水耕氧化还原层;Br1 为铁淀积层;Br2 为锰淀积层;Br21 为锰淀积层亚层;Br22 为锰淀积层亚层;Brg 为氧化还原层有潜育斑;B 为淀积层;BC 为 B 层到 C 层过渡层;C 为母质层;C1、C2 为母质层亚层。

2 结果与分析

2.1 土壤剖面的形态特征

表 2 表明,供试土壤剖面的润态颜色色调分别为 2.5Y、

5Y、10YR,明度介于 3~7,彩度介于 1~8。土体较深厚,大多>1.3 m,除 43-CS05、43-CS12 剖面外,其他剖面耕作层(Ap1)较浅薄,仅 12~14 cm,犁底层(Ap2)较厚且紧实,达 6~8 cm。犁底层容重是耕作层容重的 1.09~1.70 倍。剖面

土壤结构发育明显,以棱块状、团块状和块状为主,在结构体表面普遍存在黏粒胶膜、铁锰胶膜和铁锰斑纹,数量从很少量到大量,在水耕氧化还原层(Br)数量最为丰富,甚至出现少

量到大量的铁锰结核。土体中有少量瓦片、砖块、瓷片等侵入体。土壤剖面有典型的水耕表层、水耕氧化还原层。

表 2 供试土壤的剖面形态特征

剖面编号	深度 (cm)	发生层	颜色 (润色)	土壤结构	松紧状况	新生体	侵入体
43-CS05	0~22	Ap1	10YR-5/6	团粒状	稍坚实~坚实	很少量铁锰斑纹、很少量铁锰结核	ND
	22~29	Ap2	10YR-5/4	棱块状	稍坚实~坚实	很少量铁锰斑纹、很少量锰结核	ND
	29~60	Br1	10YR-5/6	棱块状	稍坚实~坚实	少量铁锰斑纹、很少量黏粒胶膜、少量铁锰胶膜和少量锰结核	ND
	60~82	Br2	10YR-4/6	棱块状	稍坚实~坚实	少量铁锰斑纹、少量黏粒胶膜和少量锰结核	ND
	82~130	Br3	10YR-6/6	棱块状	疏松	大量铁锰斑纹、中量铁锰结核	2~3 块砖、草木炭
	130~135	C	10YR-7/8	块状	稍坚实~坚实	大量铁锰斑纹、大量铁锰结核	ND
43-CS06	0~12	Ap1	2.5Y-4/3	团块状	疏松	少量铁锰斑纹	ND
	12~18	Ap2	10YR-5/4	片状	稍坚实~坚实	ND	1~2 块瓦片
	18~35	Br1	10YR-4/6	棱块状	稍坚实~坚实	大量铁锰斑纹、少量黏粒、铁锰胶膜和中量锰结核	ND
	35~49	Br2	10YR-4/4	棱块状	稍坚实~坚实	大量铁锰斑纹、少量黏粒、铁锰胶膜和中量锰结核	ND
	49~64	Br3	10YR-4/6	棱块状	疏松	大量铁锰斑纹、中量锰结核	ND
	64~100	C1	10YR-6/6	块状	疏松	大量铁锰斑纹、少量黏粒、铁锰胶膜和中量锰结核	ND
	100~130	C2	10YR-6/6	块状	疏松	大量铁锰斑纹、中量黏粒、铁锰胶膜和大量锰结核	ND
43-CS09	0~13	Ap1	10YR-3/4	团块状	疏松	少量铁斑纹、很少量铁胶膜	ND
	13~21	Ap2	10YR-4/4	块状/片状	稍坚实~坚实	少量铁斑纹、很少量铁胶膜	2~3 块瓷片
	21~36	B	10YR-4/4	棱块状	很坚实	很少量铁斑纹、很少量铁胶膜和中量黏粒胶膜	2~3 块炭粒、木炭
	36~64	Br1	10YR-4/4	棱块状	稍坚实~坚实	少量铁斑纹、大量铁胶膜	2~3 块砖、木炭
	64~87	Brg	10YR-3/4	棱块状	疏松	少量铁斑纹、中量黏粒和铁胶膜	ND
	87~132	Br2	10YR-4/4	棱块状	稍坚实~坚实	少量铁斑纹、中量铁胶膜	ND
43-CS10	0~14	Ap1	10YR-3/2	团块状	稍坚实~坚实	大量铁斑纹	ND
	14~20	Ap2	5Y-3/1	团块状	疏松	少量铁锰斑纹	ND
	20~37	Br1	10YR-4/4	棱块状	稍坚实~坚实	中量铁锰斑纹、中量黏粒胶膜	1~2 块卵石
	37~64	Br2	10YR-5/8	棱块状	疏松	很大量锰斑纹、大量黏粒胶膜	ND
	64~95	C1	10YR-6/6	块状	疏松	少量铁锰斑纹、少量黏粒胶膜	ND
	95~137	C2	10YR-5/8	块状	稍坚实~坚实	大量铁锰斑纹、中量黏粒胶膜	ND
43-CS12	0~18	Ap1	10YR-4/4	团块状	稍坚实~坚实	中量铁斑纹	2~3 块瓷片、石粒
	18~26	Ap2	10YR-4/6	棱块状	稍坚实~坚实	少量铁斑纹	2~3 块砖
	26~43	B	2.5Y-5/6	棱块状	疏松	中量铁锰斑纹、大量黏粒胶膜	2~3 块瓦片
	43~78	Br	2.5Y-6/4	棱块状	疏松	中量铁锰斑纹、大量黏粒胶膜	ND
	78~92	BC	2.5Y-6/4	棱块状	稍坚实~坚实	少量铁锰斑纹、中量黏粒胶膜	ND
	92~130	C	2.5Y-7/6	棱块状	稍坚实~坚实	中量铁锰斑纹、很少量黏粒胶膜	ND

注:ND 表示没有侵入体;10YR、2.5Y、5Y 分别表示色调、明度、彩度。

2.2 土壤主要理化性质

从表 3 可以看出,土壤剖面无明显砾石(岩石碎屑含量<5%)。颗粒分析表明,质地以壤土类为主,黏粒含量介于 238~381 g/kg,剖面的黏化率介于 0.80~1.38。从表 4 可以看出,5 个剖面各个层次的水提 pH 值为 5.0~7.1,根据相关标准规定^[23],剖面的控制层段的部分或全部 pH 值≥5.5,为非酸性。因此 5 个供试土壤为非酸性的。随剖面加深,pH 值整体呈升高趋势。其中 43-CS05 剖面的 pH 值变异幅度较大,pH 值为 5.8~7.1,导致这一差异的原因一方面是受二元母质发育的影响(因该采样点在第四纪红色黏土和石灰性紫色砂岩风化物交错地带,属第四纪红色黏土和石灰性紫色砂岩混合母质),另一方面与耕作精细和施肥习惯有关^[1]。游离氧化

铁含量介于 11.4~44.8 g/kg 之间,平均值为 29.0 g/kg。

2.3 供试土壤的诊断层与诊断特性

诊断层与诊断特性是土壤系统分类的基础和依据。依据供试剖面野外描述与理化性质结果,参照《中国土壤系统分类检索》(第三版)^[24]有关诊断层、诊断特性及控制层段的定义,5 个供试剖面都具备水耕表层和水耕氧化还原层等高级分类中的诊断层及相关诊断特性(表 5)。

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)对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,5 个剖面均属于人为土土纲、水耕人为土亚纲。

表 3 供试土壤的物理性质

剖面编号	发生层	深度 (cm)	直径>2 mm 的 岩石碎屑含量 (%)	细土颗粒组成(g/kg)			质地名称	容重 (g/cm ³)	黏化率 (%)
				沙粒 2.000 ~ 0.050 mm	粉粒 0.050 ~ 0.002 mm	黏粒 <0.002 mm			
43 - CS05	Ap1	0 ~ 22	0	229	465	306	黏壤土	0.92	—
	Ap2	22 ~ 29	1	424	279	297	黏壤土	1.57	0.97
	Br1	29 ~ 60	1	390	272	338	黏壤土	1.61	1.10
	Br21	60 ~ 82	2	668	84	248	沙质黏壤土	1.45	0.81
	Br22	82 ~ 130	1	661	58	281	沙质黏壤土	1.62	0.92
	C	130 ~ 135	16	638	99	263	沙质黏壤土	—	0.86
43 - CS06	Ap1	0 ~ 12	0	551	87	362	沙质黏土	1.00	—
	Ap2	12 ~ 18	0	233	421	346	黏壤土	1.38	0.96
	Br1	18 ~ 35	0	662	24	314	沙质黏壤土	1.59	0.87
	Br21	35 ~ 49	0	691	17	293	沙质黏壤土	1.57	0.81
	Br22	49 ~ 64	0	256	453	291	黏壤土	1.50	0.80
	C1	64 ~ 100	0	673	15	312	沙质黏壤土	1.41	0.86
	C2	100 ~ 130	0	666	17	318	沙质黏壤土	1.36	0.88
43 - CS09	Ap1	0 ~ 13	0	168	488	344	粉沙质黏壤土	0.85	—
	Ap2	13 ~ 21	0	139	480	381	粉沙质黏壤土	1.14	1.11
	B	21 ~ 36	0	261	393	346	黏壤土	1.22	1.01
	Br1	36 ~ 64	0	445	185	371	黏壤土	1.36	1.08
	Brg	64 ~ 87	0	520	167	312	沙质黏壤土	1.40	0.91
	Br2	87 ~ 132	0	280	375	345	黏壤土	1.35	1.00
43 - CS10	Ap1	0 ~ 14	1	233	525	242	粉沙壤土	1.14	—
	Ap2	14 ~ 20	1	283	469	248	壤土	1.54	1.02
	Br1	20 ~ 37	1	463	222	315	沙质黏壤土	1.58	1.30
	Br2	37 ~ 64	0	375	292	333	黏壤土	1.55	1.38
	C1	64 ~ 95	0	398	275	327	黏壤土	1.54	1.35
	C2	95 ~ 137	0	494	268	238	沙质黏壤土	1.53	0.98
43 - CS12	Ap1	0 ~ 18	1	319	421	259	壤土	1.29	—
	Ap2	18 ~ 26	1	288	457	254	壤土	1.40	0.98
	B	26 ~ 43	1	311	417	273	黏壤土	1.34	1.05
	Br	43 ~ 78	0	616	78	305	沙质黏壤土	1.54	1.18
	BC	78 ~ 92	0	625	57	318	沙质黏壤土	1.62	1.23
	C	92 ~ 130	0	347	296	357	黏壤土	1.45	1.38

5 个典型水稻土剖面的水耕表层下均无灰色铁渗亚层，因此均不属铁渗水耕人为土类。43 - CS10 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，属铁聚水耕人为土类；43 - CS05、43 - CS06、43 - CS09 和 43 - CS12 剖面均属于简育水耕人为土类。在铁聚水耕人为土类中，43 - CS10 剖面无变性现象和潜育特征，剖面垂直 60 cm 土层范围内也无漂白层，因此属普通铁聚水耕人为土亚类。在简育水耕人为土类中，4 个剖面均无变性、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 - CS05、43 - CS06、43 - CS09、43 - CS12 等 4 个剖面均属普通简育水耕人为土亚类（表 6）。

2.4.2 基层分类单元划分

2.4.2.1 土族划分 参照《中国土壤系统分类（修订方案）》土族和土系划分标准^[23]，土族控制层段为从诊断表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土族划分。

根据相关划分标准^[23]对研究区内 5 个典型水稻土剖面土族控制层段的土壤颗粒大小级别进行划分（表 7）。5 个剖面 >2 mm 岩屑的含量均 <25%，其中 43 - CS06 剖面的土族控制层段沙粒含量 ≥55%，被划分为沙质；43 - CS05、43 - CS09、43 - CS10、43 - CS12 剖面的土族控制层段黏粒含量介于 20% ~ 35% 之间，被划分为黏壤质。对研究区内 5 个剖面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，5 个剖面均没有铝质和石灰性，43 - CS05、43 - CS06、43 - CS09、43 - CS10、43 - CS12 剖面控制层段的部分或全部 pH 值 ≥5.5，为非酸性。5 个剖面的颗粒大小级别为沙质和黏壤质，因此从上到下查看适用于所有颗粒大小级别或沙质、黏壤质颗粒大小级别的矿物学类型，5 个剖面均属混合型。按张慧智等的方法^[22]得到 5 个剖面 50 cm 土深处的土温介于 19.9 ~ 20.0 ℃ 之间，检索土壤温度状况属于热性。现将所选的 5 个剖面划为 3 个土族：43 - CS05、43 - CS09、43 - CS12 为黏壤质混合型非酸性热性 - 普通简育水耕人为土，43 - CS06 为沙质混合型非酸性热性 - 普通简育水耕人为土，43 - CS010 为黏壤质混合型非酸性热性 - 普通铁聚水耕人为土（表 8）。

表 4 供试土壤的化学性质

剖面编号	深度 (m)	pH 值	全铁含量 (g/kg)	游离铁含量 (g/kg)	游离度 (%)	有机质含量 (g/kg)
43 - CS05	0 ~ 22	5.8	35.6	29.1	81.7	39.7
	22 ~ 29	6.6	45.4	38.5	84.7	17.8
	29 ~ 60	6.4	37.8	30.4	80.4	9.7
	60 ~ 82	7.1	30.8	25.9	84.0	10.8
	82 ~ 130	7.0	38.0	32.4	85.3	8.8
	130 ~ 135	7.1	45.6	34.3	75.2	4.7
43 - CS06	0 ~ 12	5.0	45.4	29.9	66.0	39.3
	12 ~ 18	5.2	59.6	39.6	66.4	29.0
	18 ~ 35	6.1	54.1	34.9	64.6	12.3
	35 ~ 49	6.0	53.8	33.4	62.0	10.0
	49 ~ 64	6.5	67.1	38.8	57.9	5.1
	64 ~ 100	6.4	77.1	38.0	49.2	5.1
	100 ~ 130	6.3	75.9	42.9	56.4	5.1
43 - CS09	0 ~ 13	5.7	60.8	24.1	39.6	45.5
	13 ~ 21	6.4	52.8	29.2	55.3	34.8
	21 ~ 36	6.8	51.8	26.2	50.7	26.0
	36 ~ 64	6.8	51.8	31.3	60.4	18.1
	64 ~ 87	5.6	35.5	22.7	64.0	16.6
	87 ~ 132	6.3	45.7	17.0	37.2	12.3
43 - CS10	0 ~ 14	5.0	35.6	11.4	32.1	39.9
	14 ~ 20	5.5	47.3	23.5	49.8	22.2
	20 ~ 37	6.7	66.0	28.0	42.4	7.3
	37 ~ 64	6.5	56.5	28.0	49.7	5.5
	64 ~ 95	6.7	49.3	22.3	45.3	4.3
	95 ~ 137	6.8	38.4	18.3	47.8	3.5
43 - CS12	0 ~ 18	5.6	40.1	26.7	66.6	23.9
	18 ~ 26	5.9	44.6	27.8	62.3	19.7
	26 ~ 43	6.0	45.4	29.2	64.4	17.7
	43 ~ 78	6.9	34.1	21.1	61.9	6.9
	78 ~ 92	6.9	39.9	19.2	48.2	3.1
	92 ~ 130	7.0	64.0	44.8	70.1	3.1

表 5 供试土壤诊断层与诊断特性

剖面编号	成土母质	诊断层	诊断特性
43 - CS05	第四纪红色黏土	水耕表层、水耕氧化还原层	人为滞水土壤水分状况、氧化还原特征、热性土壤温度状况
43 - CS06	第四纪红色黏土	水耕表层、水耕氧化还原层	人为滞水土壤水分状况、氧化还原特征、热性土壤温度状况
43 - CS09	第四纪红色黏土	水耕表层、水耕氧化还原层	人为滞水土壤水分状况、潜育特征、氧化还原特征、热性土壤温度状况
43 - CS10	第四纪红色黏土	水耕表层、水耕氧化还原层	人为滞水土壤水分状况、氧化还原特征、热性土壤温度状况
43 - CS12	第四纪红色黏土	水耕表层、水耕氧化还原层	人为滞水土壤水分状况、氧化还原特征、热性土壤温度状况

表 6 供试土壤在系统分类高级分类单元的归属

剖面编号	土纲	亚纲	土类	亚类
43 - CS05	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 - CS06	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 - CS09	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 - CS10	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 - CS12	人为土	水耕人为土	筒育水耕人为土	普通筒育水耕人为土

2.4.2.2 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,包含该类土壤的最基本信息。参照《中国土壤系统分类土族和土系建立的划分标准》^[23],属于不同亚类和不同土族,可划分为不同的土系;属于同一土族的,则须依据特定土层的深度和厚度、表层土壤的质地以及土系控制层段中岩石碎屑、结核、侵入体等特征的差异进行土系划分。参照相关土系划分标准^[23],供试土壤的土系划分结果见表 8。根据高级分类划分标准,将供试土壤划分为 3 个不

同亚类,其中 43 - CS06 与 43 - CS05、43 - CS09、43 - CS12 属于同一亚类但不同的土族,43 - CS06 的颗粒大小级别为沙质属性,因此可划分为不同的土系。43 - CS10 与 43 - CS06 属于不同土类,因供试土壤为普通铁聚水耕人为土,因此可以被划分为独立的土系。43 - CS05、43 - CS09、43 - CS12 等 3 个剖面属于同一亚类、同一土族,理论上可以被划分为同一土系。但 43 - CS05 与 43 - CS12 特定土层深度不同,43 - CS05 的特定土层深度为 100 ~ 150 cm,而 43 - CS12 的特定土层深

表 7 供试土壤土族控制层段内鉴别特征

剖面编号	土族控制层段 (cm)	直径>2 mm 的 岩石碎屑含量(%)	黏粒含量 (%)	沙粒含量 (%)	颗粒大小 级别	矿物类型	石灰性及酸碱度	土壤温度
43-CS05	29~100	1	29.6	54.5	黏壤质	混合型	非酸性	热性
43-CS06	18~100	0	30.5	59.8	沙质	混合型	非酸性	热性
43-CS09	21~100	0	34.5	40.5	黏壤质	混合型	非酸性	热性
43-CS10	20~100	0	32.1	41.0	黏壤质	混合型	非酸性	热性
43-CS12	26~100	0	30.6	51.9	黏壤质	混合型	非酸性	热性

表 8 供试土壤土系划分依据

亚类	土族鉴别特征	土系	剖面号	土系划分依据
普通筒育水耕人为土	沙质混合型非酸性热性	凌茭系	43-CS06	与 43-CS05、43-CS09、43-CS12 为不同的土族,表现在颗粒大小级别为沙质
普通筒育水耕人为土	黏壤质混合型非酸性热性	金鼎山系	43-CS05	与 43-CS12 为同一土族,特定土层深度为 100~150 cm 范围内,可以划分为不同土系
		罗巷新系	43-CS09	在特定土层 64~87 cm 出现了潜育现象,可以划分为不同土系
		马战系	43-CS12	与 43-CS05 为同一土族,特定土层深度为 50~100 cm 范围内,可以划分为不同土系
普通铁聚水耕人为土	黏壤质混合型非酸性热性	白玉系	43-CS10	与 43-CS06 为不同的土类

度为 92 cm,在 50~100 cm 范围内,被划分为不同土系。43-CS09 在特定土层 64~87 cm 出现潜育现象,因此,将其划分为不同的土系。因此,将 5 个剖面划分为金鼎山系(43-CS05)、凌茭系(43-CS06)、罗巷新系(43-CS09)、白玉系(43-CS10)、马战系(43-CS12)。

3 讨论

3.1 长沙地区第四纪红土发育的水稻土在发生分类与系统分类中的参比关系

在发生学分类中,5 个供试剖面分属于人为土纲、水耕人为土亚纲、水稻土土类、潜育性水稻土亚类、红黄泥土属、红黄泥、青棕红黄泥土种。在系统分类中,5 个剖面归入人为土土纲、水耕人为土亚纲、铁聚水耕人为土和筒育水耕人为土土类、普通铁聚水耕人为土和普通筒育水耕人为土亚类,在基层单元上则分出 3 个土族和 5 个土系(表 8)。因此从这 5 个第四纪红土土壤的划分中可看出,中国土壤发生分类与中国土壤系统分类呈不对应关系。土壤发生分类重视成土条件和推测的成土过程,忽略土壤本身的属性,结果是把同一地区、同一母质处于不同发育阶段的土壤都划分为同一个土类或亚类^[25]。而土壤系统分类是在遵循土壤发生学理论的基础上,更为重视土壤本身性质,以定量的诊断层和诊断特性为依据,划分土壤类型。

把长沙地区划分为 3 个土族和 5 个土系,可清晰地反映土体在发育程度、物质组成等性质上的突变差异,在指导生产实践中更具有现实意义。另外,基于中国土壤系统分类土族和土系的划分标准,在类似母土/母质条件下,颗粒大小级别和质地层次差异是划分土系的敏感指标。在长沙地区第四纪红土发育的水耕人为土基层分类中土壤质地和颗粒大小级别仍具有重要意义。

3.2 长沙地区第四纪红土发育的水耕人为土土族与土系的生产性能

土族和土系的划分主要服务于生产实践。在长沙地区所建立的 3 个土族及下设的 5 个土系,具有地势平坦、分布面积

较大的特点,是当地重要的稻—稻、稻—稻—油生产基地。田间排灌设施系统、完善,具有较好的农田水利基础条件,通常是当地的高产田。耕层土壤结构良好,土质疏松,多以壤土为主,但底层土质黏重、紧实,不易漏水漏肥。供试土壤水耕表层大部分浅薄(仅为 10~18 cm),特别是凌茭系(耕层仅为 12 cm)。因此,应注重深耕深翻、加深耕层或种植根系生长力强的作物品种。其中金鼎山系、罗巷新系、马战系土壤耕作层呈非酸性反应,土壤条件较好,其余的土壤呈酸性反应,耕层的水提 pH 值<5.5,酸化严重,有必要因地制宜,施用石灰或碱性物质,提升耕层 pH 值。

土壤肥力是衡量土壤作为农业生产基地,进行农作物生产的重要指标^[26],是土壤的本质属性和主要功能^[25],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 and 科学合理地施肥提供依据。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^[27-30]。参照第二次土壤普查的水田土壤生产性能评价标准^[24],高产水稻土有机质含量在 2.5%~3.8% 之间,属于有机质含量高的高产水稻土。由表 9 可知,长沙地区所建立的 5 个土系耕层剖面有机质丰富,其含量在 23.90~45.50 g/kg 范围内,其中罗巷新系有机质含量极高,为 45.49 g/kg;马战系有机质含量适宜,为 23.90 g/kg;其他 3 个剖面有机质含量高,在 30.00~40.00 g/kg 范围内。耕层全氮含量的变化范围为 0.76~2.13 g/kg,其中 43-CS05 和 43-CS06 耕层的全氮含量较低,应增施氮肥,分别增加土壤氮的供应强度和有效性。其他土壤剖面的氮肥含量很高,均属“极高”级别,生产中应考虑适当减少氮肥投入。耕层全磷含量变化范围为 0.73~2.03 g/kg,其中 43-CS05、43-CS10、43-CS12 全磷含量较低,低于 1 g/kg,表明土壤磷的供应潜力不足,适量施用磷肥对防止土壤磷素的缺乏具有很好的防范作用;43-CS06、43-CS09 耕层的全磷含量大于 1g/kg 说明该研究区土壤磷丰富。土壤剖面耕层的钾肥含量范围为 13.08~41.13 g/kg,含量约为 1%~4%。43-CS05 耕层全钾含量低于 2%,低于湖南省全钾含量的平均水平^[20],应及时施用钾肥,其他剖面

表 9 供试土壤剖面养分的平均含量

剖面编号	深度 (cm)	发生层	养分含量(g/kg)			
			有机质	全氮	全磷	全钾
43-CS05	0~22	Ap1	39.67	0.90	0.91	13.08
	22~29	Ap2	17.76	0.48	0.47	12.31
	29~60	Br1	9.66	0.20	0.53	17.82
	60~82	Br2	10.76	0.32	0.43	14.6
	82~130	Br3	8.83	0.30	0.30	16.73
	130~135	C	4.70	0.17	0.38	15.48
43-CS06	0~12	Ap1	39.31	0.76	1.20	25.82
	12~18	Ap2	28.99	1.32	0.87	26.96
	18~35	Br1	12.32	0.49	0.54	26.03
	35~49	Br2	9.96	0.46	0.45	25.77
	49~64	Br3	5.12	0.54	0.48	25.49
	64~100	C1	5.15	0.26	0.57	33.18
43-CS09	0~13	Ap1	45.49	2.13	2.03	30.91
	13~21	Ap2	34.78	1.38	1.37	25.81
	21~36	B	25.99	1.05	0.74	26.52
	36~64	Br1	18.14	0.77	0.55	26.53
	64~87	Brg	16.64	0.73	0.58	26.14
	87~132	Br2	12.28	0.55	0.30	26.48
43-CS10	0~14	Ap1	39.87	1.82	0.86	41.13
	14~20	Ap2	22.24	1.11	0.79	41.98
	20~37	Br1	7.23	0.39	0.69	42.73
	37~64	Br2	5.52	0.28	0.51	38.85
	64~95	C1	4.30	0.22	0.55	37.31
	95~137	C2	3.51	0.25	0.61	42.56
43-CS12	0~18	Ap1	23.90	1.09	0.73	25.00
	18~26	Ap2	19.73	0.90	0.69	26.44
	26~43	B	17.71	0.92	0.64	26.62
	43~78	Br	6.88	0.75	0.16	31.45
	78~92	BC	3.14	0.26	0.13	34.59
	92~130	C	3.10	0.34	0.02	33.58

耕层的全钾含量大于 2%,应减少钾肥的投入^[31]。

4 结论

在长沙地区第四纪红色黏土条件下,按照我国土壤系统分类方案,在水耕人为土亚纲下检索出铁聚水耕人为土和筒育水耕人为土 2 个土类,普通铁渗水耕人为土和普通筒育水耕人为土 2 个亚类,划分出 3 个土族和 5 个土系。在同一地区,类似母质发育土壤的基层分类上,系统分类的量化指标比发生分类的定性化指标更为敏感,能划分出更多的基层土壤类型,其中颗粒大小级别和质地层次差异是划分土系的敏感指标。

我国土壤系统分类可有效地将第四纪红色黏土发育水耕人为土的生产性能体现出来,对当地农作物生产和土壤改良具有指导意义。

参考文献:

[1]朱莲青. 水稻土层段的辨认和辩正(续)[J]. 土壤肥料,1981(6):1-3.

[2]龚子同. 中国土壤分类四十年[J]. 土壤学报,1989,26(3):217-225.

[3]李庆逵. 中国水稻土[M]. 北京:科学出版社,1992:1-3.

[4]徐 琪. 水稻土发生分类的研究概况[J]. 土壤学进展,1979(5):1-13.

[5]于天仁. 水稻土的发生和类型[J]. 土壤,1982(2):41-45.

[6]邢世和,吴金奖,林景亮. 水稻土发生分类的研究——铁的淋溶淀积与水稻土的发育[J]. 福建农学院学报,1988,17(1):62-67.

[7]龚子同,张甘霖. 中国土壤系统分类:我国土壤分类从定性向定量的跨越[J]. 中国科学基金,2006(5):293-296.

[8]朱莲青,马溶之,宋达泉,等. 水稻土土层分类及命名概则[J]. 土壤特刊(乙种),1938(4):85-91.

[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]章明奎,厉仁安. 金衢盆地红色和紫色砂页岩发育土壤的特征和分类[J]. 土壤,2001,33(1):52-56.

[11]魏孝孚,章明奎,厉仁安. 浙江衢县样区土系的划分[J]. 土壤,2001,33(1):26-31.

[12]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):769-775.

[13]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.

[14]王庆云,徐能海. 湖北省土系概要[M]. 武汉:湖北科学技术出版社,1997.

[15]赵文君,陈志诚,张甘霖,等. 海南岛土壤磷吸持性及其在分类中的意义[J]. 土壤,2004,36(6):626-630.

[16]徐祥明,覃灵华,杨 慧. 西南典型水耕人为土诊断层黏土矿物特征[J]. 土壤通报,2014,45(2):265-271.

[17]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.

[18]韩光中,张甘霖. 母质对南方丘陵区水耕人为土理化性质演变的影响[J]. 土壤学报,2014,51(4):772-780.

[19]湖南省农业厅. 湖南土种志[M]. 北京:农业出版社,1987.

[20]湖南省农业厅. 湖南土壤[M]. 北京:中国农业出版社,1989.

[21]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.

[22]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):1-8.

[23]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(4):826-83.

[24]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.

[25]崔潇潇,高 原,吕昭忠. 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.

[26]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):26-28.

[27]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 II. 长沙市郊 6 个蔬菜基地土壤的肥力特性[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2004,30(3):229-232.

[28]王 颖,刘会玲,崔江慧,等. 环渤海地区盐渍土养分及盐离子分布特征[J]. 江苏农业科学,2016,44(1):344-348,356.

[29]史书强,赵 颖,何志刚,等. 生物有机肥配施化肥对马铃薯土壤养分运移及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(6):154-157.

[30]贾昌梅,牛显春,张冬梅,等. 广州市农田生态系统土壤养分和微生物量的分布特征[J]. 江苏农业科学,2016,44(7):446-451.

[31]廖超林,傅灵艺,张鹏博,等. 湘中南土地整理后烟田土壤肥力指标评价及空间变异特征[J]. 水土保持研究,2017,24(2):105-111.