

徐祖亮,陆晓辉. 典型喀斯特流域水稻土发生特性及系统分类[J]. 江苏农业科学,2023,51(18):215-222.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.18.031

# 典型喀斯特流域水稻土发生特性及系统分类

徐祖亮,陆晓辉

(贵州师范大学地理与环境科学学院/贵州省喀斯特山地生态环境国家重点实验室培育基地,贵州贵阳 550025)

**摘要:**以后寨河流域内 7 个典型的水稻土为研究对象,基于土壤剖面形态特征和理化性质,探讨其发生特性并确定它们在中国土壤系统分类中的归属。结果表明,水稻土质地以黏土类为主。有机质自表层向下逐渐减少,而土壤 pH 值与之相反。土壤表层颜色相较于表下层较暗。根据中国土壤系统分类诊断条件,检索出 1 个土纲,1 亚纲,3 个土类,5 个亚类。根据土族土系划分标准及对比《中国土系志·贵州卷》,发现 2 个剖面已有对应的土族、土系:黏质混合型非酸性热性-普通筒育水耕人为土、缠溪系,其余 4 个剖面对应土族、土系,考虑新建立黏质混合型非酸性热性-底潜筒育水耕人为土、姜角山系等 6 个土族、土系,以补充现有分类成果,并为第三次土壤普查提供喀斯特水稻土相关的基础性参考结论。

**关键词:**喀斯特流域;水稻土;发生特性;系统分类;后寨河流域

**中图分类号:**S155.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)18-0215-07

土壤是人类赖以生存和发展的基础性物质,土壤分类是土壤研究者进行土壤信息交流的桥梁,同时也是土壤数字制图的前提和基础<sup>[1-2]</sup>。中国土壤分类可分为发生分类和系统分类,前者主要以定性的类型数据(如母土、水型等)作为土壤类型划分与鉴定的指标,后者主要以定量化的指标划分土壤类型。2 种分类体系各具特色,因此,目前这 2 套分类体系在我国依旧共用存在<sup>[3-4]</sup>。

流域作为探究元素循环与物质迁移的基本单元,一直都是土壤研究者关注的焦点<sup>[5]</sup>。贵州省位于我国西南地区,其境内独特的地质地貌环境,形成了诸多喀斯特流域。喀斯特流域内的水稻土是成土母质在独特的地形地貌、气候及人类活动等多种因素的共同作用下,伴随着时间的推移而形成的具有一定剖面形态特征、内在属性和肥力特征的历史自然体,是各种成土因素的综合体现<sup>[6]</sup>。迄今为止,不少学者对贵州省内的土壤进行了分类研究,如宁婧对喀斯特石灰岩发育的土壤进行了土壤类

型划分<sup>[7]</sup>;章明奎等对梵净山的土壤进行了分类研究<sup>[8]</sup>;杨柳等对贵州喀斯特草地条件下的石灰(岩)土进行了分类<sup>[9]</sup>等,以上及其他前人的相关研究主要以贵州省为大背景下的土壤高级分类单元归属为主,但以流域为研究尺度的土壤分类特别是喀斯特流域内水稻土的基层分类单元归属鲜见报道。基于此,本研究在贵州省典型喀斯特流域内选择 7 个典型的水稻土作为研究对象,试图以现有土壤分类标准和土壤分类成果,划分出高级分类单元和基层分类单元,以期对现有的土壤分类成果进行补充,并为第三次全国土壤普查提供相应的喀斯特土壤基础性参考结果,由此增强人们对喀斯特地区土壤的认识。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

后寨河流域位于贵州省安顺市普定县境内,地理位置为 26°07'01"~26°18'52"N,105°35'58"~105°48'13"E,是我国南方典型的喀斯特流域,流域面积约为 75 km<sup>2</sup><sup>[10-11]</sup>。流域内地貌类型复杂多样,分布有典型的地上、地下喀斯特地貌,如峰林洼地、盆地、峰丛谷地、峰林台地以及漏斗与落水洞、溶洞等<sup>[12]</sup>。该流域属于温暖湿润的中亚热带季风气候区,年平均气温在 15℃左右,年平均降水量约为 1 200 mm<sup>[13-15]</sup>。主要植被类型有常绿阔叶林、针阔混交林以及高山灌丛等<sup>[11]</sup>。复杂的自然环境

收稿日期:2022-12-06

基金项目:国家自然科学基金(编号:41867001);贵州师范大学学术新苗培养及创新探索专项[编号:黔科合平台人才(2018)5769-23];贵州师范大学博士科研项目[编号:GZNU(2017)7号]。

作者简介:徐祖亮(1995—),男,贵州遵义人,硕士研究生,从事土壤与景观生态研究。E-mail: 840787426@qq.com。

通信作者:陆晓辉,博士,教授,从事土壤发生与分类研究。E-mail: lu\_xiaohui@126.com。

造就了流域内土壤类型的复杂性与多样性,其中水稻土是流域内一种极为重要的土壤资源。

1.2 研究方法

基于贵州省第二次土壤普查获取的水稻土土种典型剖面信息<sup>[12]</sup>,结合研究区内地形地貌、土地利用及母质情况,选取 7 个具有代表性的水稻土为研究对象,相关成土环境见表 1。

表 1 供试土壤剖面成土环境

剖面号	采样点	经度	纬度	海拔 (m)	地形	成土母质
1	普定姜角山	105°47'34"E	26°15'24"N	1 334	洼地	石灰岩坡积物
2	普定陈旗堡村	105°44'47"E	26°16'03"N	1 244	洼地	石灰岩残积物
3	普定大兴村陇角	105°43'56"E	26°13'08"N	1 266	洼地	石灰岩坡积物
4	普定田官村	105°42'47"E	26°12'51"N	1 238	盆地	泥灰岩风化物
5	普定小独坡	105°41'41"E	26°16'38"N	1 200	台地	灰质白云岩风化物
6	普定草塘村	105°46'11"E	26°13'35"N	1 311	谷地	石灰岩坡积物
7	普定洞口	105°41'47"E	26°15'33"N	1 230	盆地	石灰岩坡积物

本研究中土壤理化性质及氧化铁、氧化锰含量等指标参照文献[16]的方法测定获得:土壤 pH 值采用(土液比 1:2.5)电位法测定;土壤有机质含量采用重铬酸钾-硫酸消化法测定;土壤颗粒组成采用比重计法测定;CEC<sub>7黏粒</sub>采用乙酸铵-EDTA(乙二胺四乙酸)交换法;土壤全铁、游离氧化铁含量均采用邻菲罗啉比色法于分光光度计上比色测定;全量锰、游离态氧化锰含量均采用高碘酸钾比色法于分光光度计上比色测定。土壤颜色采用孟塞尔标准土壤色卡比色获得。相关数据的统计整理与分析在软件 Excel 2019 和 SPSS 25.0 中完成。

2 结果与分析

2.1 土壤剖面形态特征及理化性质

2.1.1 土壤剖面主要形态特征 土壤形态集中反映了土壤的发生发育情况,是人们了解土壤发育的基础。土壤形态特征作为划分土壤发生层次的主要依据,是土壤研究者在野外进行土壤描述的主要内容。结合土壤理化性质、矿物学特征等,能帮助土壤研究者很好地认识土壤形成的过程,进而对土壤类型归属进行科学鉴定<sup>[5,17]</sup>。表 2 为 7 个供试土壤剖面的形态特征,从表中可知,供试土壤剖面表层的颜色(润态)色调主要为 10YR、2.5Y,明度在 4~5 之间,主要为 4,彩度在 1~4 之间,主要为 2。供试土壤剖面表下层的颜色(润态)色调主要为 2.5Y、7.5YR,明度在 3~6 之间,主要为 5,彩度在 1~8 之间,主要为 2 和 6。各供试土壤剖面的土体较厚,均≥100 cm;耕作层(Ap1)的厚度介于 10~22 cm 之间,平均厚度约为 16 cm。除剖面 5 外,其

余剖面在表下层土壤中均出现一定量的锈斑、铁锰结核及胶膜新生体。在野外对土壤剖面进行观察发现,各供试土壤剖面土壤结构以块状为主,由于土壤表层受到人类活动的干扰程度较强,表层土壤相较于表下层更加疏松。

2.1.2 土壤主要理化性质 由表 3 可知,土壤剖面的理化性质随成土环境的不同而存在差异。结合对剖面的观察发现,土壤剖面中砾石含量较少(<5%)。对颗粒组成分析可知,各土壤剖面质地(美国制)以黏土类为主,黏粒含量介于 366.000~711.936 g/kg 之间,剖面黏化率较低,仅在 0.712~1.649 之间,粉黏比大部分土壤<1,介于 0.228~1.137 之间。土壤剖面中 CEC<sub>7黏粒</sub>在 16.68~52.282 cmol/kg 之间,其中除剖面 1、3 随深度加深呈先增加后减小的趋势外,其余剖面均随土壤深度加深呈减少趋势。供试土壤中有有机质含量自剖面从上到下呈逐渐减少趋势,这可能与耕作时施肥和秸秆还田等人类活动干扰有关。土壤中 pH 值在 5.40~8.09 之间,平均值为 7.38,土壤主要呈中性,并且大部分土壤 pH 值随剖面深度的加深呈增大趋势。

非人为干扰状态下,该流域内的耕作制度为一年一熟,一年中水稻土进行水稻-油菜或其他作物的轮作,因此流域内的水稻土处于干湿交替的过程中,此过程可引起土壤中氧化铁、氧化锰的活化并向下迁移、淀积。根据统计分析发现,大部分供试土壤淀积层的氧化铁、氧化锰含量明显高于表层。在土壤剖面中淀积层的氧化铁含量远高于氧化锰(表 4)。但除剖面 4、6 外,其余供试土壤淀积层锰

表 2 供试土壤剖面形态特征

剖面号	发生层	土层厚度 (cm)	颜色 (润态)	土壤结构	松紧状况	新生体
1	Ap1	0 ~ 10	10YR 4/2	块状	疏松	—
	Ap2	10 ~ 30	10YR 4/1	块状	稍坚实	—
	Bgr1	30 ~ 50	10YR 5/2	块状	坚实	少量锈斑
	Bgr2	50 ~ 73	10YR 5/1	块状	坚实	少量锈斑
	Cs2	73 ~ 100	10YR 4/6	块状	坚实	少量锰结核
2	Ap1	0 ~ 13	10YR 4/4	块状	松散	—
	Ap2	13 ~ 27	2.5Y 4/4	块状	稍坚实	少量胶膜
	Br1	27 ~ 64	7.5YR 5/6	块状	坚实	少量铁锰结核
	Br2	64 ~ 120	7.5YR 4/6	块状	坚实	锈斑和锰结核
3	Ap1	0 ~ 22	2.5Y 4/4	块状	稍坚实	—
	Ap2	22 ~ 32	2.5Y 4/3	块状	坚实	—
	B1	32 ~ 53	2.5Y 3/2	块状	坚实	少量锈斑
	B2	53 ~ 64	2.5Y 4/2	块状	极坚实	铁锰结核
	C	64 ~ 120	2.5Y 6/6	块状	极坚实	铁锰结核
4	Ap1	0 ~ 10	2.5Y 4/1	块状	松散	—
	Ap2	10 ~ 25	2.5Y 4/2	块状	坚实	—
	Bx1	25 ~ 37	2.5Y 5/3	块状	坚实	少量白色胶膜
	Bx2	37 ~ 60	5G 6/2	块状	坚实	少量白色胶膜
	Bx3	60 ~ 80	7.5YR 5/6	块状	极坚实	白色胶膜
	Btx4	80 ~ 100	7.5YR 5/6	块状	极坚实	白色胶膜
5	Ap1	0 ~ 20	2.5Y 4/3	块状	稍坚实	—
	Apr2	20 ~ 46	2.5Y 5/4	块状	坚实	—
	Br	46 ~ 66	2.5Y 5/4	块状	坚实	—
	C	66 ~ 110	7.5YR 5/8	无	坚实	—
6	A	0 ~ 15	10YR 4/2	块状	疏松	—
	P	15 ~ 21	10YR 4/2	块状	稍坚实	大量胶膜
	Bg1	21 ~ 33	2.5Y 5/2	块状	坚实	大量胶膜
	Bg2	33 ~ 85	2.5Y 5/2	块状	坚实	大量胶膜
	Bg3	85 ~ 120	5Y 5/2	块状	坚实	—
7	Ap1	0 ~ 20	10YR 4/2	块状	疏松	—
	Ap2	20 ~ 35	10YR 4/2	块状	疏松	—
	Bx1	35 ~ 55	5YR 4/3	块状	稍坚实	少量胶膜
	Bs2	55 ~ 120	7.5YR 4/6	块状	坚实	铁锰结核

注:“—”表示无新生体出现。

游离度高于铁游离度,说明在土壤中,氧化锰比氧化铁更活跃。对剖面氧化铁、氧化锰的相关分析发现,全铁、游离铁、全锰、游离锰含量两两间均呈正相关关系,这说明土壤氧化铁与氧化锰含量存在着相似的分布情况,这与姚玉才等关于贵州省水耕人为土的氧化铁、氧化锰研究情况<sup>[18]</sup>相似。

2.2 土壤诊断层、诊断特性及系统分类归属

2.2.1 土壤诊断层及诊断特性 以《中国土壤系统分类检索(第3版)》<sup>[19]</sup>中的土壤诊断层、诊断特

性为依据,对7个土壤剖面的诊断层和诊断特性进行鉴定,结果见表5。所有供试土壤剖面均有水耕表层和水耕氧化还原层及水分状况均为人为滞水,且土壤温度状况均为热性。此外剖面4有漂白层发育。所有剖面都有铁质特性;剖面1、2、3、7有氧化还原特征;剖面1、3有潜育特征。

2.2.2 土壤高级分类单元 根据表5并结合《中国土壤系统分类检索(第3版)》,对各供试剖面逐级检索,确定了7个供试土壤剖面在中国土壤系统

表 3 供试土壤的理化性质

剖面号	发生层	有机质 (g/kg)	pH 值	容重 (g/cm <sup>3</sup> )	颗粒组成(g/kg)			质地	黏化率	粉黏比	CEC <sub>7黏粒</sub> (cmol/kg)
					沙粒	粉粒	黏粒				
1	Ap1	39.845	5.96	1.286	150.084	319.974	529.942	黏土	1.000	0.604	30.711
	Ap2	37.000	6.93	1.301	194.026	428.526	377.449	粉沙质黏壤土	0.712	1.135	50.793
	Bgr1	20.121	6.83	1.407	98.135	437.964	463.901	粉沙质黏土	1.229	0.944	31.854
	Bgr2	19.655	7.10	1.356	150.119	379.974	469.907	黏土	1.013	0.809	28.102
	Cs2	11.966	7.15	1.501	54.134	341.956	603.909	黏土	1.285	0.566	30.516
2	Ap1	41.948	7.63	1.369	18.184	461.920	519.896	粉沙质黏土	1.000	0.888	28.458
	Ap2	20.966	8.08	1.366	30.079	339.977	629.944	黏土	1.212	0.540	19.918
	Br1	9.052	7.86	1.714	108.786	309.984	580.958	黏土	0.922	0.534	18.831
	Br2	8.397	7.28	1.310	170.920	238.090	590.918	黏土	1.017	0.403	16.680
3	Ap1	48.793	5.40	1.211	90.131	419.947	489.922	粉沙质黏土	1.000	0.857	22.542
	Ap2	16.379	7.53	1.214	150.021	419.997	429.981	粉沙质黏土	0.878	0.977	28.969
	B1	17.931	7.70	1.325	158.177	417.919	423.904	粉沙质黏土	0.986	0.986	36.022
	B2	21.328	7.64	1.430	122.159	455.924	421.917	粉沙质黏土	0.995	1.081	32.132
	C	11.276	8.01	1.443	98.114	479.946	421.939	粉沙质黏土	1.000	1.137	31.943
4	Ap1	50.155	6.45	1.525	90.143	379.947	529.910	黏土	1.000	0.717	28.614
	Ap2	36.552	7.39	1.402	138.215	339.939	521.846	黏土	0.985	0.651	22.622
	Bx1	10.931	7.96	1.583	10.021	399.997	589.982	粉沙质黏土	1.131	0.678	19.521
	Bx2	3.586	7.91	1.441	74.062	295.985	629.954	黏土	1.068	0.470	24.843
	Bx3	11.310	7.70	1.365	30.062	279.986	689.952	黏土	1.095	0.406	18.976
	Btx4	3.190	6.88	1.381	10.065	177.999	811.936	黏土	1.177	0.219	16.831
5	Ap1	43.207	7.93	1.513	62.180	335.940	601.879	黏土	1.000	0.558	25.341
	Apr2	21.534	8.04	1.451	78.037	323.992	597.971	黏土	0.994	0.542	24.736
	Br	21.776	7.87	1.467	94.032	361.993	543.976	黏土	0.910	0.665	23.714
	C	9.362	7.52	1.165	30.147	179.975	789.878	黏土	1.452	0.228	17.077
6	A	48.013	6.48	1.182	434.000	200.000	366.000	黏壤土	1.000	0.546	52.282
	P	45.083	6.18	1.331	156.000	382.000	462.000	黏壤土	1.262	0.827	36.580
	Bg1	25.463	7.46	1.517	168.800	420.000	411.200	黏壤土	0.890	1.021	21.701
	Bg2	26.532	7.30	1.490	126.800	360.000	513.200	黏土	1.248	0.701	21.501
	Bg3	13.895	7.34	1.497	108.800	360.000	531.200	黏土	1.035	0.678	21.209
7	Ap1	46.169	8.09	1.337	405.200	184.000	410.800	黏壤土	1.000	0.448	43.109
	Ap2	27.222	8.06	1.692	304.800	320.000	375.200	黏壤土	0.913	0.853	31.586
	Bx1	19.843	7.93	1.541	45.200	336.000	618.800	黏土	1.649	0.543	20.890
	Bs2	11.982	7.90	1.424	379.200	180.000	440.800	黏壤土	0.712	0.408	37.297

分类中的归属,检索结果见表 6。7 个供试剖面均有水耕表层和水耕氧化还原层,因此它们均属于人为土土纲,水耕人为土亚纲。所有供试土壤剖面中紧接水耕表层之下无灰色铁渗淋亚层,因此它们均不属于铁渗水耕人为土土类。7 个供试剖面中仅有剖面 3 的土表向下至 60 cm 范围内的部分土层出现潜育特征,但该剖面再无其他诊断特征土层要求出现,因此检索出该剖面为潜育水耕人为土土类,普通潜育水耕人为土。剖面 4、5 的水耕氧化还原层的

游离 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 至少为表层的 1.5 倍,但仅剖面 4 土表向下至 60 cm 范围内有漂白层出现,剖面 5 无其他诊断特性,据此剖面 4 为铁聚水耕人为土土类,漂白铁聚水耕人为土亚类;剖面 5 为普通铁聚水耕人为土。剖面 1 土表下 60 ~ 100 cm 范围内出现潜育特征,无其他诊断特性,因此该剖面为底潜简育水耕人为土。剖面 2、6、7 无其他土类、亚类检索特性出现,因此该 4 个剖面为简育水耕人为土土类,普通简育水耕人为土亚类。

表 4 供试土壤剖面淀积层氧化铁、氧化锰含量情况

剖面号	全量 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 含量 (g/kg)	游离 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 含量 (g/kg)	铁游离度	全量 MnO 含量 (g/kg)	游离 MnO 含量 (g/kg)	锰游离度
1	81.41	42.31	0.52	0.74	0.56	0.76
2	92.80	36.33	0.39	1.61	0.67	0.41
3	60.85	33.36	0.55	1.35	0.82	0.61
4	65.55	36.84	0.56	0.07	0.03	0.48
5	78.49	43.47	0.55	0.69	0.53	0.77
6	73.03	42.70	0.58	2.06	0.97	0.47
7	89.17	44.35	0.50	2.06	1.09	0.53

表 5 供试土壤诊断层和诊断特性

剖面号	水耕表层	水耕氧化还原层	漂白层	氧化还原特征	潜育特征	铁质特性	水分状况	温度状况
1	•	•		•	•	•	人为滞水	热性
2	•	•		•		•	人为滞水	热性
3	•	•		•	•	•	人为滞水	热性
4	•	•	•			•	人为滞水	热性
5	•	•				•	人为滞水	热性
6	•	•				•	人为滞水	热性
7	•	•		•		•	人为滞水	热性

表 6 供试剖面系统分类结果及其与发生分类间的参比

系统分类					发生分类	
剖面号	土纲	亚纲	土类	亚类	土类	亚类
1	人为土	水耕人为土	简育水耕人为土	底潜简育水耕人为土	水稻土	潜育型水稻土
2	人为土	水耕人为土	简育水耕人为土	普通简育水耕人为土	水稻土	淹育型水稻土
3	人为土	水耕人为土	潜育水耕人为土	普通潜育水耕人为土	水稻土	渗育型水稻土
4	人为土	水耕人为土	铁聚水耕人为土	漂白铁聚水耕人为土	水稻土	漂洗型水稻土
5	人为土	水耕人为土	铁聚水耕人为土	普通铁聚水耕人为土	水稻土	淹育型水稻土
6	人为土	水耕人为土	简育水耕人为土	普通简育水耕人为土	水稻土	渗育型水稻土
7	人为土	水耕人为土	简育水耕人为土	普通简育水耕人为土	水稻土	淹育型水稻土

2.2.3 土壤基层分类单元划分 以中国土壤系统分类土族和土系划分标准<sup>[20]</sup>为依据,进行土族、土系划分。在土壤剖面控制层段内进行土壤颗粒级别大小、矿物学类型、石灰性和土壤酸碱性、土壤温度等级的检索。检索结果见表 7:在控制层段内,所有供试剖面的岩石碎屑含量 <25%,且剖面 1、2、3、6、7 中细土黏粒含量在 35% ~ 60% 之间,颗粒大小级别检索为黏质,而剖面 4、5 中细土黏粒含量 ≥60%,颗粒级别为极黏质。矿物学类型:剖面 1、2、3、5、7 为混合型;剖面 4 黏粒中的伊利石含量为 37.3%,剩余的为其他矿物,矿物学类型符合伊利石混合型;剖面 6 黏粒中的绿泥石含量为 32.1%,剩余的为其他矿物,矿物学类型符合绿泥石

混合型。根据表 7 所示控制层段厚度并结合表 2、表 3 所示供试土壤剖面各发生层的厚度和 pH 值可知,所有剖面控制层段内土壤 pH 值均 >5.5,因此所有剖面属于非酸性;土壤温度状况类型以陆晓辉等的研究结果为依据,50 cm 深度土壤温度在 15 ~ 22 ℃ 之间,均属于热性土<sup>[21-22]</sup>。

进行土族土系划分前,将与《中国土系志·贵州卷》<sup>[23]</sup>中已建立的土族土系进行对比,无重复者可考虑建立新的土族、土系。根据以上结果将 7 个剖面划分为 6 个土族,6 个土系,划分结果见表 8。其中,剖面 2、7 在控制层段内的鉴别特征与《中国土系志·贵州卷》中已有的土族、土系黏质混合型非酸性热性-普通简育水耕人为土、缠溪系一致,

表 7 供试土壤土族控制层段内鉴别特征

剖面号	控制层段 (cm)	黏粒含量 (%)	颗粒大小级别	矿物学类型	石灰性和酸碱性	土壤温度
1	30 ~ 73	46.69	黏质	混合型	非酸性	热性
2	25 ~ 100	58.59	黏质	混合型	非酸性	热性
3	25 ~ 100	42.53	黏质	混合型	非酸性	热性
4	80 ~ 100	71.19	极黏质	伊利石混合型	非酸性	热性
5	25 ~ 100	64.39	极黏质	混合型	非酸性	热性
6	25 ~ 85	46.22	黏质	绿泥石混合型	非酸性	热性
7	35 ~ 100	52.98	黏质	混合型	非酸性	热性

因此这 2 个剖面将沿用已有土族、土系的名称。其他供试剖面在《中国土系志·贵州卷》中无对应的土族、土系出现,因此可考虑建立新的土族、土系:剖面 1 为黏质混合型非酸性热性-底潜筒育水耕人为土,姜角山系;剖面 3 为黏质混合型非酸性热性-

普通潜育水耕人为土,陇角系;剖面 4 为极黏质伊利石混合型非酸性热性-漂白铁聚水耕人为土,田官系;剖面 5 为极黏质混合型非酸性热性-普通铁聚水耕人为土,小独坡系;剖面 6 为黏质绿泥石混合型非酸性热性-普通筒育水耕人为土,草塘系。

表 8 供试土壤系统分类基层分类单元归属及参比

剖面号	中国土壤发生分类		中国土壤系统分类	
	土属	土种	土族	土系
1	鸭屎泥田	鸭屎泥田	黏质混合型非酸性热性-底潜筒育水耕人为土	姜角山系
2	大土泥田	沙大土泥田	黏质混合型非酸性热性-普通筒育水耕人为土	缠溪系
3	大泥田	大泥田	黏质混合型非酸性热性-普通潜育水耕人为土	陇角系
4	白胶泥田	中白胶泥田	极黏质伊利石混合型非酸性热性-漂白铁聚水耕人为土	田官系
5	大土泥田	胶大土泥田	极黏质混合型非酸性热性-普通铁聚水耕人为土	小独坡系
6	红沙泥田	红沙泥田	黏质绿泥石混合型非酸性热性-普通筒育水耕人为土	草塘系
7	大土泥田	沙大土泥田	黏质混合型非酸性热性-普通筒育水耕人为土	缠溪系

3 讨论

3.1 喀斯特流域水稻土发生特性

土壤颜色是人们对土壤最直观的感觉之一,它是判断成土环境、反映土壤发育以及野外进行土壤层次划分的重要形态特征之一<sup>[24-25]</sup>。土壤有机质、氧化铁、氧化锰含量是土壤重要的致色物质<sup>[26-28]</sup>。致色物质影响土壤颜色色度特征参数,实质上是影响人们对土壤颜色的直观感觉。贵州省是全国唯一没有平原支撑的省份,通常情况下,水稻土位于地势较低平的坝子内<sup>[29]</sup>,水稻土受人类活动强烈干扰,如耕种、施肥、秸秆还田等,且土壤常处于嫌气状态,这利于有机质的积累,使表层土壤有机质含量比表下层高。喀斯特地区地下水埋藏较深,难以利用,加上受耕作制度的影响,常为季节性灌溉,使土壤环境常处于干湿交替的状态,这加剧了土壤氧化还原过程,氧化铁、氧化锰向下淋溶迁移的过程中比较活跃,整体上土壤剖面的氧化铁、氧化锰表下层高于表层。经相关分析发现,供试土壤中的有机质与土壤颜色色度参数中明度、彩度、亮度、黄度和红度均呈显著性负相关关系;土壤氧化铁主要与土壤颜色的彩度、黄度和红度显著正相关,氧化锰主要与亮度值呈显著性负相关,与黄度呈显著性正相关关系。由此表层土壤相较于表下层有机质含量较高,氧化铁、氧化锰含量较低,土壤颜色较暗。水耕熟化是水稻土主要成土过程,由于频繁的干湿交替、耕作、施肥等使黏重的土壤逐渐由大块状转变为小块状,水耕时形成了微结构,使高度熟化的

水稻土产生了耕性。由于土壤表层受到人类活动的干扰程度较强,表层土壤相较于表下层更加疏松。研究区水稻土主要由碳酸盐岩(石灰岩、白云岩和泥灰岩等)残坡积物发育而来,在其形成发育过程中有机质的钙凝作用、生物富钙作用和含有碳酸盐的地表水进入土体,土体中钙、镁离子丰富,这阻滞了盐基的淋失<sup>[30]</sup>,由此形成土壤盐基饱和度较高,土壤多呈中性至微碱性特征。

3.2 喀斯特流域水稻土发生分类与系统分类参比

中国土壤系统分类以发生学为指导,因此系统分类和发生分类在土壤类型划分上存在一定的联系,但 2 种分类体系所考虑的分类依据存在差异,两者划分的土壤类型并非是简单的一对一关系。在发生分类土类划分中,将所有供试剖面划分为水稻土土类,但在系统分类土类划分中并非将所有供试剖面划分为同一土类。在发生分类体系下,剖面 3、6 为渗育型水稻土亚类,它们分别对应了系统分类中的普通潜育水耕人为土和普通筒育水耕人为土亚类;剖面 2、5、7 为淹育型水稻土亚类,前两者均对应普通筒育水耕人为土亚类,而剖面 5 对应系统分类亚类的普通铁聚水耕人为土;剖面 1、4 在发生分类体系下为潜育型水稻土和漂洗型水稻土亚类,而在系统分类中两者分别为底潜筒育水耕人为土和漂白铁聚水耕人为土。

发生分类中的土属与土种分别与系统分类中的土族和土系相对应<sup>[31]</sup>。但发生分类中的土属与土种的划分依据主要为定性的类型量指标,如成土母质类型、熟化程度、土壤颜色、土壤质地等,且这

些定性的指标会因为观测者的不同而产生些许差异。而系统分类中的土族与土系所划分的依据主要为定量化的指标,因此供试土壤剖面在发生分类土属、土种与系统分类土族、土系没有对应关系。剖面 2、5、7 为大土泥田土属,前两者为沙大土泥田土种,后者为胶大土泥田土种,而前两者在系统分类中为黏质混合型非酸性热性-普通筒育水耕人为土土族,缠溪系土系,而剖面 5 为极黏质混合型非酸性热性-普通铁聚水耕人为土土族,小独坡系土系;剖面 1 在发生分类中为鸭屎泥田土属、土种,系统分类中为黏质混合型非酸性热性-底潜筒育水耕人为土土族、姜角山系土系;剖面 3 发生分类土属、土种为大泥田,而系统分类土族、土系为黏质混合型非酸性热性-普通潜育水耕人为土、陇角系;剖面 4 为白胶泥田土属、中白胶泥田土种,而对应的土族、土系为极黏质伊利石混合型非酸性热性-漂白铁聚水耕人为土、田官系;剖面 6 为红沙泥田土属、红沙泥田土种,对应的土族、土系为黏质绿泥石混合型非酸性热性-普通潜筒育水耕人为土、草塘系。

以类型量数据为分类依据的发生分类划分的土壤类型受划分者主观因素的影响容易产生混淆。相比较于发生分类,以量化指标为分类依据的中国土壤系统分类可降低土壤分类过程中的混淆程度,能更准确地划分出相应的土壤类型。因此中国土壤系统分类相较于发生分类,前者更适合于当下土壤科学的发展,更能指导喀斯特地区土地资源的开发与利用。

#### 4 结论

贵州安顺后寨河流域水稻土颜色(润态)色调主要为 2.5Y,质地以黏土类为主,土体较厚。表层土壤有机质含量较表下层丰富;土壤多呈中性至微碱性特征;淀积层土壤氧化铁、氧化锰含量高于表层,土壤氧化铁含量高于氧化锰含量。

根据研究区土壤发生条件及发生特性,按照中国土壤系统分类要求,检索出底潜筒育水耕人为、普通潜育水耕人为土、漂白铁聚水耕人为土、普通铁聚水耕人为土和普通筒育水耕人为土 5 个亚类。根据土族土系划分标准及与现有成果对比划分出黏质混合型非酸性热性-普通筒育水耕人为土、缠溪系,黏质混合型非酸性热性-底潜筒育水耕人为土,姜角山系、黏质混合型非酸性热性-普通潜育水耕人为土,陇角系、极黏质伊利石混合型非酸性热性-漂白铁聚水耕人为土,田官系、极黏质混合

型非酸性热性-普通铁聚水耕人为土,小独坡系、黏质绿泥石混合型非酸性热性-普通筒育水耕人为土,草塘系。

#### 参考文献:

- [1] 张甘霖,史 舟,朱阿兴,等. 土壤时空变化研究的进展与未来[J]. 土壤学报,2020,57(5):1060-1070.
- [2] 龚子同,张甘霖,陈志诚,等. 以中国土壤系统分类为基础的土壤参比[J]. 土壤通报,2002(1):1-5.
- [3] 曹 俏,余 展,周 清,等. 湖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[J]. 土壤,2019,51(1):168-177.
- [4] 彭 涛,欧阳宁相,张 亮,等. 湘东花岗岩发育水稻土在中国土壤系统分类中的归属[J]. 浙江农业学报,2017,29(10):1726-1732.
- [5] 张甘霖,朱阿兴,史 舟,等. 土壤地理学的进展与展望[J]. 地理科学进展,2018,37(1):57-65.
- [6] 章明奎,姚玉才,邱志腾,等. 贵州省土壤的系统分类及其与发生分类的参比研究[J]. 中国农学通报,2019,35(26):94-106.
- [7] 宁 婧. 贵州喀斯特生态环境石灰土发生特征与诊断特性的研究[D]. 贵阳:贵州大学,2009.
- [8] 章明奎,毛霞丽,邱志腾,等. 梵净山垂直带土壤的发生学特性与系统分类研究[J]. 土壤通报,2018,49(4):757-766.
- [9] 杨 柳,何腾兵,舒英格,等. 贵州喀斯特区草地生态条件下石灰(岩)土的发生特性及系统分类研究[J]. 中国岩溶,2011,30(1):93-99.
- [10] 白云星,周运超. 贵州省后寨河小流域地形因子、人为干扰与石漠化定量研究[J]. 生态学报,2019,39(19):7087-7096.
- [11] 黄先飞,周运超,张珍明. 土地利用方式下土壤有机碳特征及影响因素——以后寨河喀斯特小流域为例[J]. 自然资源学报,2018,33(6):1056-1067.
- [12] 贵州省土壤普查办公室. 贵州省土壤[M]. 贵州:贵州科技出版社,1994.
- [13] 中国科学院地球化学研究所. 中国科学院普定喀斯特生态系统观测研究站[J]. 中国科学院院刊,2020,35(7):934-937.
- [14] 白云星,周运超,周鑫伟,等. 喀斯特土壤与喀斯特区域土壤关系的探讨——以贵州省普定县后寨河小流域为例[J]. 土壤,2020,52(2):414-420.
- [15] 王兴富,曹人升,吴先亮,等. 喀斯特山地废弃矿区土壤重金属污染评价[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版),2021,39(5):29-35.
- [16] 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.
- [17] Soil Survey Division Staff. Soil survey manual[M]. Washington D C:United States Department of Agriculture,1993:207-305.
- [18] 姚玉才,邱志腾,杨良飏,等. 贵州省典型水耕人为土的发生学性状与系统分类研究[J]. 土壤通报,2018,49(2):253-259.
- [19] 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:中国科技大学出版社,2001:21-100.
- [20] 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.

王勤礼, 闫芳, 陈璐, 等. 菌糠-凹凸复合盐碱地调理剂对盐碱地改良效果及玉米产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(18): 222-226.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.18.032

# 菌糠-凹凸复合盐碱地调理剂对盐碱地改良效果及玉米产量的影响

王勤礼<sup>1</sup>, 闫芳<sup>1</sup>, 陈璐<sup>2</sup>, 熊鹰<sup>1,3</sup>, 张文斌<sup>4</sup>, 华军<sup>4</sup>

(1. 河西学院甘肃省食用菌菌糠资源化利用工程研究中心, 甘肃张掖 734000; 2. 河西学院农业与生态工程学院, 甘肃张掖 7340000;  
3. 临泽县奋君矿业有限公司, 甘肃临泽 734207; 4. 张掖市经济作物技术推广站, 甘肃张掖 734000)

**摘要:**探究菌糠-凹凸盐碱地调理剂对盐碱地的改良效果以及对玉米产量的影响, 为菌糠-凹凸盐碱地调理剂推广和盐碱地治理提供依据。试验设菌糠-凹凸盐碱地调理剂(T1)、石膏(T2)、不施调理剂(CK)3个处理, 采用田间试验, 分析不同处理对土壤理化性质、玉米出苗率和产量的影响。结果表明, 所有处理对土壤 pH 值和容重影响差异不大; T1 可显著降低土壤电导率, 玉米收获时, T1 电导率较 CK 降低了 45.56%; 在玉米生育前期, T1 能降低土壤碱化度, 提高阳离子交换量; T1 土壤有机质含量最高, 收获时较 CK 增加 17.96 g/kg; T1 的玉米出苗率最高, 为 96.16%, 较 CK 的出苗率增加了 43.47 个百分点; T1 小区产量最高, 达 56.31 kg/48 m<sup>2</sup>, 较 CK 增产 106.49%。本研究结果显示, 菌糠-凹凸盐碱地复合调理剂能显著降低土壤电导率, 增加土壤有机质含量, 在玉米生长前期可降低土壤碱化度(ESP), 提高阳离子交换量(CEC), 提高玉米出苗率和产量。

**关键词:**菌糠; 凹凸; 盐碱地; 土壤调理剂; 玉米

**中图分类号:**S156.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)18-0222-05

目前我国盐渍化面积大约为  $0.35 \times 10^9 \text{ hm}^2$ <sup>[1-2]</sup>。河西走廊地处我国西北内陆, 降水量少, 蒸发量大, 独特的气候条件造成土壤盐碱化及次生盐碱化十分严重, 现有盐碱地 179.8 万 hm<sup>2</sup> 左右<sup>[3]</sup>。因此, 盐碱地改良已成为该区农业可持续发展和守牢耕地红线、实现粮藏于地战略的首要任务。

收稿日期: 2022-11-13

基金项目: 甘肃省教育厅产业支撑计划(编号: 2021CYZC-43); 2022 年临泽县揭榜挂帅制项目; 2022 年张掖市科技计划(编号: ZY2022KY02)。

作者简介: 王勤礼(1966—), 男, 甘肃永昌人, 硕士, 教授, 主要从事农业废弃物资源化利用研究。E-mail: wangqinli66@qq.com。

目前盐碱地改良方法有水利工程、化学调理、生物技术和农业方法<sup>[4]</sup>。不同措施均有一定改良作用, 但其改良效果不同。利用盐碱地调理剂改良盐碱地是目前较为普遍的改良措施, 常用的调理剂有钙类物质、酸性物质和有机物料类<sup>[5]</sup>。但不同调理剂对盐碱地改良效果差别较大。

菌糠富含有机质和多种矿质元素, 还有残余菌丝体。大量试验表明, 菌糠可降低盐碱地 pH 值和电导率, 改善盐碱地物理性质<sup>[6-8]</sup>。凹凸棒石具有较好的吸附性、离子交换性、缓释性、抗盐性等特性, 研究表明, 凹凸棒石对盐碱地土壤改良具有重要作用<sup>[9-11]</sup>。但有关菌糠和凹凸棒石 2 种材料复

[21] 陆晓辉, 董宇博, 涂成龙. 基于不同估算方法的贵州省土壤温度状况[J]. 土壤学报, 2016, 53(2): 401-410.

[22] 董宇博, 陆晓辉, 王济. 贵州省土壤温度状况估算[J]. 地球与环境, 2016, 44(2): 243-247.

[23] 章明奎, 毛霞丽, 邱志腾, 等. 中国土系志(贵州卷)[M]. 北京: 龙门书局, 2020: 57-95.

[24] 郑兴芬, 吕 镔, 陈梓炫, 等. 不同空间范围土壤色度的纬向变化特征及其气候意义[J]. 土壤学报, 2020, 57(5): 1186-1196.

[25] 余星兴, 袁大刚, 陈剑科, 等. 基于 Munsell 颜色的土壤游离铁预测研究[J]. 土壤学报, 2021, 58(5): 1322-1329.

[26] Sahwan W, Lucke B, Sprafke T, et al. Relationships between spectral features, iron oxides and colors of surface soils in northern

Jordan[J]. Journal of Soil Science, 2021, 72(1): 80-97.

[27] 张 蕾, 张凤荣, 靳东升, 等. 黄土高原淋溶土黏粒、氧化铁与颜色的关系及发生学解释——以山西土系调查的 31 个黏化层为例[J]. 土壤学报, 2021, 58(4): 876-886.

[28] 晏昭敏, 袁大刚, 余星兴, 等. 紫色土色度参数与铁锰形态及有机质的定量关系研究[J]. 土壤学报, 2021, 58(2): 372-380.

[29] 赵宇鸾, 魏小芳, 李秀彬. 岩溶区山-坝系统土地利用耦合演化研究的初步探讨[J]. 中国岩溶, 2020, 39(1): 48-53.

[30] 朱鹤健, 陈健飞, 陈松林, 等. 土壤地理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.

[31] 郭 梦, 吴克宁, 郝士横, 等. 新疆草甸土在中国土壤系统分类中的归属研究[J]. 中国土壤与肥料, 2022(2): 54-64.