

彭涛,张亮,盛浩,等.湘东第四纪红土发育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(20):316-320.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.20.079

湘东第四纪红土发育水稻土在中国土壤系统分类中的归属

彭涛¹,张亮^{1,2},盛浩^{1,2},周清^{1,2},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 410128)

摘要:为探寻湘东第四纪红土发育水稻土在中国土壤系统分类中的归属,选取当地 5 个第四纪红土发育的典型水稻土剖面样点,野外调查成土条件、描述土壤剖面特征,并于室内分析土壤理化性状。根据中国土壤系统分类的指标体系鉴定诊断层和诊断特性,确定其在中国土壤系统分类中的归属: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 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,并进一步划分出 2 个土族和 5 个土系(新中系、枫树桥系、袁家系、许胜系、八家湾系),且与土壤发生分类进行参比。结果表明,类似物质起源的土壤,在基层分类单元上,系统分类比发生分类具有更强的分类能力,可有效指导当地生产实践。

关键词:母质;水耕人为土;诊断层;诊断特性;中国土壤系统分类;基层分类

中图分类号: S155.2⁺92 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)20-0316-04

水稻土指在长期植稻下,经人为水耕熟化和自然成土因素的双重作用,形成的具有特殊剖面构型的人为土壤^[1]。水稻土是湖南省重要的土壤资源,约 50% 分布在湘东、湘中地区^[2]。早在 1930 年,我国针对水稻土就有专门的分类研究^[3-4]。湖南省在第 2 次土壤普查的基础上,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、漂白色水稻土、潜育性水稻土等 4 个亚类、33 个土属、162 个土种^[2]。近年来随着定量化系统分类的兴起,我国率先在世界上提出水耕人为土亚纲,并提出将水耕表层和水耕氧化还原层作为水耕人为土的诊断层^[5]。目前,已基本确定水耕人为土的高级分类单元,并在我国东部地区逐步开展水耕人为土基层分类研究^[6],而中部、西部地区分布的大面积水稻土在中国土壤系统分类中的归属仍有待加强研究^[7-11]。目前,湖南省仅见关于湘西南起源于石灰岩的水稻土在中国土壤系统分类中的归属研究^[12]。笔者所在课题组选取起源于第四纪红色黏土(第四纪红土)的典型水稻土为研究对象,应用系统分类指标,确定水稻土在中国土壤系统分类中的地位,建立代表性土族、土系,不仅对补充完善我国土系基础数据库具有重要意义,也对当地农业生产实践具有参考价值。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

采样地涉及湘东的长沙、株洲、岳阳 3 个地级市,地势东

高西低,南高北低。研究区东部主要分布“雁行式”排列的中山,西部、北部主要分布丘陵、盆地和河谷平原。在第四纪更新世时,研究区广泛分布山岳冰川,目前仍残存第四纪冰川剥蚀、堆积和冰碛物遗迹。在间冰期,山岳冰川融化,大量泥砂、砾石搬运沉积到低丘、岗地、沿河两岸和滨湖平原边缘,形成古老的第四纪红色黏土,其中以湘东地区的长浏、茶攸盆地最为典型。该区域属中亚热带湿润季风气候,年平均温度为 16~18℃,降水量为 1 300~1 500 mm,无霜期为 265~310 d,光、热、水均能满足双季稻要求,是湖南省最佳农业发展地区。起源于第四纪红土母质的水田常分布在丘陵岗地的坡下部,从上到下依次分布浅红黄泥、红黄泥和青泥田的土种组合。其传统耕作制度以双季稻—绿肥、双季稻—冬闲、双季稻—油菜为主,也有少部分为一季中稻—冬作或冬闲。

1.2 土壤样品采集和室内分析

在湖南省土壤图、母岩母质图、土地利用现状图以及第 2 次土壤普查资料的基础上,结合对当地农户的调查、走访结果,并参照《湖南土壤》^[2]《湖南土志》^[13]中的第四纪红色黏土分类和土种描述,综合确定 5 个起源于第四纪红土的水稻土样点位置。参照《野外土壤描述与采样手册》中的统一标准调查成土环境、挖掘土壤剖面,描述土体发育形态、采集土壤发生层样品并拍摄景观、剖面照片。样点概况详见表 1。

采用环刀法测定土壤容重;采用吸管法测定土壤机械组成,质地分类采用美国农业部分类法;pH 值的测定采用电位法(液土质量比为 2.5:1.0);有机质含量采用重铬酸钾—硫酸消化法进行测定;阳离子交换量采用乙酸铵交换法进行测定;全氮含量采用硒粉—硫酸铜—硫酸消化—蒸馏法进行测定,全磷、全钾含量均采用碳酸锂—硼酸熔融—ICP 发射光谱法进行测定;土壤游离氧化铁含量采用连二亚硫酸钠—柠檬酸钠—重碳酸钠法进行测定^[14]。基于 X 射线衍射方法和阳离子交换量(cation exchange capacity,简称 CEC)、元素含量的测定结果综合分析土壤矿物学型。

收稿日期:2017-05-08

基金项目:国家科技基础性工作专项(编号:2014FY110200A15)。

作者简介:彭涛(1994—),男,湖南衡阳人,硕士研究生,从事水田土壤分类与利用研究。E-mail:534846081@qq.com。

通信作者:盛浩,博士,副教授,从事土壤资源利用与环境研究。E-mail:shenghao82@hunau.edu.cn。

表 1 采样点概况

| 剖面编号 | 剖面构型 | 采样地点 | 海拔(m) | 小地形 |
|---------|-----------------------------|---------------------------------------|-------|-------|
| 43-ZZ15 | Ap1-Ap2-Br1-Br2-Br3-Br4-BCr | 株洲市攸县新市乡新中村大屋组(27.169°N,113.383°E) | 90 | 沟谷地中部 |
| 43-ZZ18 | Ap-Br-Apb-Bbr-Cr1-Cr2 | 株洲市醴陵县板杉乡枫树桥村德胜和组(27.748°N,113.437°E) | 63 | 沟谷地下部 |
| 43-YY15 | Ap-Br11-Br21-Br22-Br12-Br23 | 岳阳市湘阴县袁家镇袁家村东风组(28.610°N,113.938°E) | 46 | 沟谷地下部 |
| 43-YY19 | Ap1-Ap2-Br1-Br21-Br22-Br23 | 岳阳市岳阳县城关镇许胜村五组(29.092°N,113.570°E) | 112 | 沟谷地中部 |
| 43-CS20 | Ap1-Ap2-Br1-Br2-Cr | 长沙市宁乡县青华铺乡八家湾村罗家组(28.030°N,112.483°E) | 60 | 沟谷地下部 |

注:Ap、Ap1、Ap2 分别为耕作层、耕作层亚层、犁底层;Br 为氧化还原层;Br1、Br2、Br3、Br4 均为氧化还原层亚层;Br11、Br12 均为以氧化铁为主的氧化还原层亚层;Br21、Br22、Br23 均为以氧化锰为主的氧化还原层亚层;Cr 为具有氧化还原作用的母质层;BCr 为具有氧化还原作用的过渡发生层;Bbr 为埋藏的氧化还原层。Apb 表示埋藏的耕作层;Cr1、Cr2 表示具有氧化还原作用的母质层亚层。表 2、表 3、表 6 同。

基于经验公式 $T_{\text{soil}} = 55.89 - 0.645 \times \text{纬度} - 0.004 \times \text{海拔} - 0.153 \times \text{经度}$ 估算土壤温度^[15]。

2 结果与分析

2.1 土壤剖面的形态特征

由表 2 可知,供试土壤的剖面色调以 2.5Y、10YR 为主,明度介于 3~6 之间,彩度介于 3~8 之间。土体深厚,大多 > 1.2 m,耕作层(Ap、Ap1)较浅薄且疏松,厚度仅 10~17 cm。

犁底层(Ap2)一般较厚且坚实,厚度达 6~8 cm。在剖面上,耕作层土壤结构以粒状和团粒状为主,耕作层以下底土块状、棱块状结构发育明显。结构体表面和内部孔隙普遍存在黏粒-铁锰胶膜和铁锰斑纹,数量以中量到多量为主,在水耕氧化还原层中数量最多,甚至出现少量到多量的铁锰结核。人为干扰强烈,集中在 0~60 cm 土体,常发现少量瓦片、瓷片等侵入体。经诊断,土壤剖面具有典型的水耕表层、水耕氧化还原层。

表 2 供试土壤的剖面形态特征

| 剖面编号 | 土层 (cm) | 发生层 | 土壤颜色 | 土壤结构 | 松紧状况 | 新生体 | 侵入体 |
|---------|------------|------|----------|------|--------|--------------------------|---------|
| 43-ZZ15 | 0~15 | Ap1 | 2.5Y-3/3 | 粒状 | 极疏松 | ND | ND |
| | 15~22 | Ap2 | 2.5Y-3/3 | 棱块状 | 稍坚实~坚实 | 少量铁斑纹、中量黏粒-铁锰胶膜 | 2~3 块瓦片 |
| | 22~40 | Br1 | 2.5Y-4/6 | 棱块状 | 稍坚实~坚实 | 中量铁锰斑纹、多量黏粒-铁锰胶膜 | ND |
| | 40~60 | Br2 | 2.5Y-5/4 | 棱块状 | 稍坚实~坚实 | 多量铁锰斑纹、多量黏粒-铁锰胶膜 | 2~3 块瓷片 |
| | 60~90 | Br3 | 2.5Y-5/6 | 棱块状 | 稍坚实~坚实 | 多量铁锰斑纹、多量黏粒-铁锰胶膜 | ND |
| | 90~110 | Br4 | 2.5Y-6/6 | 棱块状 | 很坚实 | 多量铁锰斑纹、很多量黏粒-铁锰胶膜、少量铁锰结核 | ND |
| | 110~140 | BCr | 2.5Y-5/6 | 棱块状 | 很坚实 | 多量铁锰斑纹、多量黏粒-铁锰胶膜 | ND |
| 43-ZZ18 | 0~13 | Ap | 10YR-4/4 | 粒状 | 极疏松 | ND | ND |
| | 13~23 | Br | 10YR-6/6 | 棱块状 | 很坚实 | 多量铁锰斑纹、中量黏粒-铁锰胶膜、少量铁锰结核 | 2~3 块瓦片 |
| | 23~33 | Apb | 10YR-5/6 | 棱块状 | 稍坚实~坚实 | 中量铁锰斑纹、多量黏粒-铁锰胶膜、中量铁锰结核 | ND |
| | 33~53 | Bbr | 10YR-5/8 | 棱块状 | 稍坚实~坚实 | 中量铁锰斑纹、很多量黏粒-铁锰胶膜 | 2~3 块瓦片 |
| | 53~75 | Cr1 | 10YR-6/6 | 棱块状 | 很坚实 | 多量铁锰斑纹、多量黏粒-铁锰胶膜 | ND |
| | 75~130 | Cr2 | 10YR-5/8 | 棱块状 | 极坚实 | 很多量铁锰斑纹、多量黏粒-铁锰胶膜 | ND |
| | | | | | | | |
| 43-YY15 | 0~17 | Ap | 2.5Y-3/3 | 团粒状 | 疏松 | 多量铁斑纹、少量黏粒-铁锰胶膜 | ND |
| | 17~36 | Br11 | 2.5Y-4/4 | 块状 | 坚实 | 少量铁斑纹、很少量黏粒-铁锰胶膜 | ND |
| | 36~60 | Br21 | 2.5Y-4/6 | 棱柱状 | 很坚实 | 多量锰斑纹、很少量黏粒-铁锰胶膜、少量铁锰结核 | 2~3 块瓷片 |
| | 60~77 | Br22 | 2.5Y-4/6 | 块状 | 很坚实 | 中量锰斑纹、中量黏粒-铁锰胶膜、多量铁锰结核 | ND |
| | 77~100 | Br12 | 2.5Y-4/6 | 块状 | 很坚实 | 中量铁锰斑纹、少量黏粒-铁锰胶膜、少量铁锰结核 | ND |
| | 133~135 | Br23 | 2.5Y-4/6 | 棱柱状 | 很坚实 | 中量锰斑纹、少量黏粒-铁锰胶膜、很少量铁锰结核 | ND |
| | | | | | | | |
| 43-YY19 | 0~10 | Ap1 | 10YR-4/4 | 团粒状 | 疏松 | ND | ND |
| | 10~18 | Ap2 | 10YR-4/4 | 块状 | 坚实 | 很少量铁斑纹 | ND |
| | 18~38 | Br1 | 10YR-5/6 | 块状 | 坚实 | 少量铁斑纹、少量黏粒-铁锰胶膜 | ND |
| | 38~75 | Br21 | 10YR-5/7 | 块状 | 坚实 | 中量锰斑纹、少量黏粒-铁锰胶膜 | ND |
| | 75~100 | Br22 | 10YR-5/8 | 块状 | 坚实 | 中量锰斑纹、中量黏粒-铁锰胶膜 | ND |
| | 100~140 | Br23 | 10YR-5/8 | 块状 | 坚实 | 中量锰斑纹、多量黏粒-铁锰胶膜、中量铁锰结核 | ND |
| | | | | | | | |
| 43-CS20 | 0~14 | Ap1 | 2.5Y-3/3 | 团粒状 | 疏松 | ND | ND |
| | 14~20 | Ap2 | 2.5Y-4/3 | 块状 | 坚实 | 很少量铁斑纹 | ND |
| | 20~46 | Br1 | 2.5Y-5/6 | 块状 | 坚实 | 少量铁斑纹、少量黏粒-铁锰胶膜 | ND |
| | 46~84 | Br2 | 2.5Y-4/4 | 块状 | 坚实 | 中量锰斑纹、少量黏粒-铁锰胶膜 | ND |
| | 84~146 | Cr | 2.5Y-4/6 | 块状 | 坚实 | 中量锰斑纹、中量黏粒-铁锰胶膜 | ND |
| | | | | | | | |

注:ND 指未观察到新生体或侵入体。

2.2 土壤主要理化性质

通过野外观察发现,土壤剖面几乎无明显砾石(<5%)。室内分析结果表明,土壤质地以壤土类(黏壤土和壤土)为主。由表 3 可知,黏粒含量介于 219~408 g/kg 之间,土壤剖

面的黏化率介于 0.6~1.2 之间,仅 2 个样点(43-ZZ15、43-YY19)在土体控制层段内存在黏化率≥1.2 的发生层,诊断为黏化层。水提土壤 pH 值为 5.1~6.7,各样点土壤剖面上均存在 pH 值≥5.5 的发生层,诊断该土壤剖面存在非酸

表 3 湘东地区第四纪红土发育水稻土剖面特性

| 剖面编号 | 发生层 | 颗粒含量(g/kg) | | | 质地 | 黏化率 | 容重 (g/cm ³) | CEC (cmol/kg) | 水提土壤 pH 值 | 游离氧化铁 含量(g/kg) |
|-----------|------|------------|-----|-----|------|-----|----------------------------|------------------|--------------|-------------------|
| | | 砂粒 | 粉粒 | 黏粒 | | | | | | |
| 43 - ZZ15 | Ap1 | 419 | 338 | 243 | 壤土 | — | 1.03 | 15.1 | 5.2 | 9.7 |
| | Ap2 | 429 | 326 | 246 | 壤土 | 1.0 | 1.25 | 12.6 | 5.3 | 11.1 |
| | Br1 | 437 | 344 | 219 | 壤土 | 0.9 | 1.51 | 11.8 | 5.7 | 35.6 |
| | Br2 | 347 | 389 | 264 | 壤土 | 1.1 | 1.57 | 13.6 | 5.8 | 29.1 |
| | Br3 | 441 | 330 | 229 | 壤土 | 0.9 | 1.59 | 9.0 | 6.0 | 27.7 |
| | Br4 | 373 | 336 | 291 | 黏壤土 | 1.2 | 1.61 | 13.6 | 5.8 | 29.2 |
| | BCr | 380 | 394 | 226 | 壤土 | 0.9 | 1.61 | 14.0 | 6.2 | 33.9 |
| 43 - ZZ18 | Ap | 330 | 386 | 284 | 黏壤土 | — | 1.19 | 11.9 | 5.2 | 24.9 |
| | Br | 295 | 414 | 292 | 黏壤土 | 1.0 | 1.44 | 12.6 | 5.3 | 26.2 |
| | Apb | 483 | 235 | 282 | 沙黏壤土 | 1.0 | 1.55 | 11.0 | 5.3 | 27.4 |
| | Bbr | 326 | 348 | 326 | 黏壤土 | 1.1 | 1.50 | 11.4 | 5.8 | 33.5 |
| | Cr1 | 341 | 350 | 309 | 黏壤土 | 1.1 | 1.42 | 10.5 | 6.0 | 30.4 |
| | Cr2 | 326 | 356 | 317 | 黏壤土 | 1.1 | 1.61 | 13.0 | 6.1 | 29.7 |
| 43 - YY15 | Ap | 106 | 569 | 325 | 粉黏壤土 | — | 1.22 | 14.1 | 5.1 | 22.2 |
| | Br11 | 365 | 387 | 248 | 壤土 | 0.8 | 1.54 | 18.1 | 5.8 | 35.8 |
| | Br21 | 275 | 464 | 261 | 黏壤土 | 0.8 | 1.57 | 16.7 | 6.1 | 37.1 |
| | Br22 | 279 | 434 | 287 | 黏壤土 | 0.9 | 1.53 | 20.6 | 6.4 | 33.7 |
| | Br12 | 367 | 398 | 235 | 壤土 | 0.7 | 1.46 | 18.2 | 6.3 | 43.2 |
| | Br23 | 425 | 343 | 232 | 壤土 | 0.7 | 1.51 | 13.3 | 6.6 | 30.6 |
| 43 - YY19 | Ap1 | 237 | 502 | 261 | 壤土 | — | 1.13 | 13.8 | 5.8 | 30.5 |
| | Ap2 | 297 | 440 | 263 | 黏壤土 | 1.0 | 1.17 | 13.5 | 5.9 | 31.3 |
| | Br1 | 319 | 398 | 284 | 黏壤土 | 1.1 | 1.49 | 13.7 | 6.3 | 42.6 |
| | Br21 | 258 | 446 | 295 | 黏壤土 | 1.1 | 1.45 | 14.4 | 6.5 | 32.4 |
| | Br22 | 226 | 483 | 290 | 黏壤土 | 1.1 | 1.56 | 13.2 | 6.7 | 36.1 |
| | Br23 | 228 | 471 | 301 | 黏壤土 | 1.2 | 1.46 | 15.7 | 6.6 | 42.1 |
| 43 - CS20 | Ap1 | 62 | 530 | 408 | 粉黏壤土 | — | 1.01 | 24.5 | 5.1 | 28.5 |
| | Ap2 | 147 | 480 | 372 | 粉黏壤土 | 0.9 | 1.13 | 26.9 | 5.8 | 31.3 |
| | Br1 | 428 | 322 | 251 | 黏壤土 | 0.6 | 1.19 | 24.7 | 5.1 | 40.8 |
| | Br2 | 284 | 421 | 295 | 黏壤土 | 0.7 | 1.49 | 19.5 | 5.8 | 21.6 |
| | Cr | 196 | 460 | 344 | 黏壤土 | 0.8 | 1.54 | 18.1 | 5.9 | 25.0 |

注：“—”表示该层无数据。

性反应;游离氧化铁含量变幅较大,为 9.7 ~ 43.2 g/kg,其中 43 - ZZ15 和 43 - YY15 的样点剖面上,出现水耕氧化还原层或亚层中土壤游离氧化铁含量超过耕作层 1.5 倍的现象,具有铁聚特征。

2.3 供试土壤的诊断层与诊断特性

根据《中国土壤系统分类检索(第三版)》^[16]中诊断层、诊断特性及控制层段的标准,本研究所选的 5 个样点剖面都具备水耕表层和水耕氧化还原层的诊断表下层,且 43 - ZZ15 和 43 - YY15 样点土壤剖面具有铁聚特征。按照张慧智等的方法^[15],得到 5 个采样点土层深度为 50 cm 处的土温为 19.3 ~ 20.7 ℃(平均值为 20.1 ℃),属于热性。

2.4 供试土壤在中国土壤系统分类中的归属

根据《中国土壤系统分类检索(第三版)》^[16]中的高级分类单元划分标准,检索供试土壤的诊断层与诊断特性,结果发现,7 个剖面均属于人为土土纲、水耕人为土亚纲、铁聚(43 - ZZ15和 43 - YY15)和简育水耕人为土土类、普通铁聚和普通简育水耕人为土亚类。

参照《中国土壤系统分类土族与土系划分建立原则与标准》进行基层分类。根据 X 射线衍射方法和 CEC、元素含量的测定结果综合分析可知,各采样点的土壤矿物学型均属于硅质混合型,砾石含量极低(<5%)。颗粒大小级别是划分土族的首要依据,按照颗粒大小级别和剖面黏粒大小加权平

均值的差异(表 4),将所选的 5 个土壤剖面划为 2 个土族,分别为黏壤质硅质混合型非酸性热性 - 普通铁聚水耕人为土(43 - ZZ15、43 - YY15)、黏壤质硅质混合型非酸性热性 - 普通简育水耕人为土(43 - ZZ18、43 - YY19、43 - CS20)。在同一土族内,按照表层土壤质地和土体色调将土壤划分为 5 个土系,土系名称和剖面特征见表 5。

表 4 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) | 剖面黏粒含量加权 平均值(%) | 颗粒大小级别 |
|-----------|----------------|--------------------|--------|
| 43 - ZZ15 | 22 ~ 100 | 24 | 黏壤质 |
| 43 - ZZ18 | 13 ~ 100 | 31 | 黏壤质 |
| 43 - YY15 | 17 ~ 100 | 26 | 黏壤质 |
| 43 - YY19 | 18 ~ 100 | 29 | 黏壤质 |
| 43 - CS20 | 20 ~ 100 | 27 | 黏壤质 |

3 讨论

3.1 土壤发生分类与中国系统分类的参比

根据土壤发生分类标准,本研究所选的 5 个第四纪红土发育的剖面土壤可以归属于人为土土纲、人为水成土亚纲、水稻土土类、淹育性(43 - ZZ18)和潜育性水稻土 2 个亚类、红黄泥和浅红黄泥 2 个土属、红黄泥和浅红黄泥 2 个土种。在土壤系统分类中,5 个样点土壤剖面分别归属人为土土纲、水

表 5 供试土壤的土系划分依据

| 剖面编号 | 土系名 | 土壤剖面特征 | 土族名称 |
|---------|------|----------------------|--------------------------|
| 43-ZZ15 | 新中系 | 表层质地为壤土、土体色调为 2.5Y | 黏壤质硅质混合型非酸性热性-普通铁聚水耕人为土 |
| 43-ZZ18 | 枫树桥系 | 表层质地为黏壤土、土体色调为 10YR | 黏壤质硅质混合型非酸性热性-普通筒育水耕人为土 |
| 43-YY15 | 袁家系 | 表层质地为粉黏壤土、土体色调为 2.5Y | 黏壤质硅质混合型非酸性热性-普通铁聚水耕人为土 |
| 43-YY19 | 许胜系 | 表层质地为壤土、土体色调为 10YR | 黏壤质硅质混合型非酸性热性-普通筒育水耕人为土 |
| 43-CS20 | 八家湾系 | 表层质地为粉黏壤土、土体色调为 2.5Y | 粉黏壤质硅质混合型非酸性热性-普通筒育水耕人为土 |

耕人为土亚纲、铁聚水耕人为土和筒育水耕人为土土类,在基层单元上分为 2 个土族和 5 个土系。然而,发生学分类主要按定性标准判定土种,土种性状变幅大,尤其是未量化考虑形态学特征指标。本研究在基层分类上,按发生分类标准划分的土种为 2 个,而按系统分类标准划分的土系为 5 个。因此,不能简单地将土种参比到土系,可能会参比到较多数量的土系类型。

起源于第四纪红土的 5 个水耕人为土,在土族划分上,按颗粒大小级别、矿物学型、石灰性和土壤酸碱反应、土壤温度等 4 个指标得出类似的划分结果,即它们均为黏壤质硅质混合型非酸性热性土壤。综合分析本研究区之前资料(6 个样点),也几乎均得出类似的划分结果^[17]。在土系上,划分出 5 个土系,说明系统分类指标较强的基层分类能力可以敏感表征土体发育程度、物质组成等突变差异,对当地农业生产具有指导意义。

3.2 基层分类单元的生产性能

划分土族和土系的根本目的在于为当地生产和产业布局提供具体指导。在农业生产性能上,土体发育深厚,耕层结构良好,犁底层或底土层较坚实,可防止耕层水肥漏失。普通铁聚水耕人为土的质地较重,以壤土或黏壤土为主,但普通筒育水耕人为土质地相对较轻。许胜系、枫树桥系耕层浅薄,分别为 10、13 cm,宜深耕深翻,以加深耕层。

参照第 2 次土壤普查的水田土壤生产性能评价标准^[18],耕层土壤有机质含量丰富(36.00~52.79 g/kg),超出一级水平(表 6)。耕层全氮含量也很高,均超出一级标准,生产中应考虑适当减少氮肥投入。CEC 一般介于 10~20 cmol/kg 之间,属三、四级水平,说明土壤供肥能力中等。八家湾系 CEC 达到二级水平,土壤供肥能力较强。土壤全钾含量较低(除八家湾系),全磷含量偏低,仅为 0.33~1.88 g/kg,宜科学补充磷、钾等元素。

4 结论

在湘东地区类似母质/母土(第四纪红色黏土)条件下,按照中国土壤系统分类方案,在水耕人为土亚纲下检索得到铁聚水耕人为土和筒育水耕人为土 2 个土类,普通铁聚水耕人为土和普通筒育水耕人为土 2 个亚类,并划分出 2 个土族,建立 5 个土系(新中系、枫树桥系、袁家系、许胜系、八家湾系)。同一地区,相同或类似物质起源的土壤,在基层分类单元上,系统分类比发生分类具有更强的分类能力,能直观、定量地划分出基层土壤类型,可为当地农业生产利用、作物布局提供直接的指导依据。

参考文献:

[1]李庆逵. 中国水稻土[M]. 北京:科学出版社,1992.

表 6 第四纪红土发育水耕人为土的养分情况

| 土系 | 发生层 | 有机质含量 (g/kg) | 全氮含量 (g/kg) | 全磷含量 (g/kg) | 全钾含量 (g/kg) | CEC (cmol/kg) |
|------|------|-----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| 新中系 | Ap1 | 52.70 | 2.64 | 1.41 | 6.44 | 15.1 |
| | Ap2 | 31.61 | 1.89 | 1.25 | 6.43 | 12.6 |
| | Br1 | 11.68 | 0.67 | 0.59 | 7.32 | 11.8 |
| | Br2 | 8.14 | 0.78 | 0.43 | 8.38 | 13.6 |
| | Br3 | 4.76 | 0.51 | 0.33 | 7.81 | 9.0 |
| | Br4 | 3.25 | 0.61 | 0.37 | 9.00 | 13.6 |
| | BCr | 2.39 | 0.56 | 0.54 | 9.46 | 14.0 |
| 枫树桥系 | Ap | 37.70 | 1.61 | 1.53 | 6.42 | 11.9 |
| | Br | 12.43 | 0.72 | 1.16 | 6.39 | 12.6 |
| | Apb | 18.61 | 0.76 | 1.05 | 6.32 | 11.0 |
| | Bbr | 9.75 | 0.72 | 0.73 | 6.41 | 11.4 |
| | Cr1 | 4.59 | 0.39 | 0.48 | 6.03 | 10.5 |
| | Cr2 | 3.18 | 0.33 | 0.39 | 5.87 | 13.0 |
| 袁家系 | Ap | 44.43 | 2.22 | 1.70 | 8.34 | 14.1 |
| | Br11 | 16.88 | 0.96 | 1.17 | 7.94 | 18.1 |
| | Br21 | 7.58 | 0.51 | 1.11 | 7.77 | 16.7 |
| | Br22 | 8.41 | 0.63 | 1.34 | 8.54 | 20.6 |
| | Br12 | 8.28 | 0.58 | 1.15 | 9.28 | 18.2 |
| | Br23 | 7.65 | 0.46 | 1.58 | 10.80 | 13.3 |
| 许胜系 | Ap1 | 36.00 | 1.86 | 1.88 | 6.53 | 13.8 |
| | Ap2 | 30.73 | 1.74 | 1.85 | 6.55 | 13.5 |
| | Br1 | 12.83 | 0.81 | 1.23 | 6.46 | 13.7 |
| | Br21 | 8.84 | 0.51 | 1.02 | 6.42 | 14.4 |
| | Br22 | 9.05 | 0.58 | 0.92 | 6.40 | 13.2 |
| | Br23 | 6.58 | 0.43 | 0.93 | 6.46 | 15.7 |
| 八家湾系 | Ap1 | 52.79 | 2.59 | 0.77 | 20.57 | 24.5 |
| | Ap2 | 43.85 | 2.17 | 0.81 | 20.76 | 26.9 |
| | Br1 | 25.97 | 0.99 | 1.27 | 19.92 | 24.7 |
| | Br2 | 8.66 | 0.80 | 0.66 | 21.98 | 19.5 |
| | Cr | 18.99 | 1.33 | 0.74 | 20.74 | 18.1 |

[2]湖南省农业厅. 湖南土壤[M]. 北京:农业出版社,1989.

[3]Gong Z. Origin, evolution, and classification of paddy soils in China [J]. Advance in Soil Science, 1986, 5: 179-200.

[4]Shi X Z, Yu D S, Xu S X, et al. Cross-reference for relating genetic soil classification of China with WRB at different scales [J]. Geoderma, 2010, 155 (3/4): 344-350.

[5]龚子同. 中国土壤地理[M]. 北京:科学出版社, 2014.

[6]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.

[7]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.

[8]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.

[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.

陈镜伊,唐婉莹,尹洪斌,等. 蓝藻的生消过程对镉污染沉积物的生物有效性[J]. 江苏农业科学,2018,46(20):320-324.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.20.080

蓝藻的生消过程对镉污染沉积物的生物有效性

陈镜伊^{1,2}, 唐婉莹¹, 尹洪斌², 朱瑾灿²

(1. 南京理工大学化工学院, 江苏南京 210094; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所/湖泊与环境国家重点实验室, 江苏南京 210008)

摘要:蓝藻聚集、死亡分解等一系列过程对沉积物-水界面环境产生较大的影响,进而会影响到沉积物重金属的生物有效性。以镉污染沉积物为对象,研究了蓝藻生长期、死亡期和复氧期过程对沉积物镉释放、形态特征以及毒性的影响。结果表明,蓝藻生长期期间会略微降低上覆水中镉的含量,而在死亡期和复氧期会略微增加镉的含量。BCR 形态分析表明,蓝藻在生长和复氧期间会造成沉积物中镉的弱酸溶解态及可氧化态含量增加,可还原态含量降低,死亡期间会降低镉的可还原态含量,增加其可氧化态含量。薄膜扩散梯度技术(DGT)研究结果表明蓝藻在生长和复氧期间会明显降低沉积物镉的供应能力。基于酸挥发性硫化物(acid volatile sulfide,简称 AVS)与同步可提出金属(simultaneously extracted metals,简称 SEM)的归一化分析结果表明,沉积物表层 0~1 cm 处的生物毒性最大,蓝藻在生长期和复氧期可有效降低生物毒性,但是蓝藻的大量死亡使得沉积物重金属的毒害作用大幅增加。蓝藻生消过程的不同阶段会对沉积物重金属生物有效性产生不同的影响,须要加以关注。

关键词:蓝藻;生消过程;沉积物;镉污染;生物有效性;模拟试验;理化性质

中图分类号: X171;X524 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)20-0320-05

随着人口的增长以及工业、农业的高速发展,人类日常生活污水和企业生产过程中产生的废水排放量逐年增加,其中往往含有大量重金属,若不经处理,这些重金属便会被悬浮颗粒物所吸附,最后流入湖泊,蓄积于沉积物中,因此沉积物又可以被称为重金属的蓄积地,对重金属的积累和释放起着举足轻重的作用^[1-3]。由于沉积物重金属具有易富集、降解难、毒性大等特点,因此过量的重金属会对湖泊水质以及底栖生物的正常生命活动产生危害^[4-5]。值得注意的是,沉积物中的重金属并非一直处于稳定状态,而是会随着周围的环境变化而发生相应的变化。例如,当水体处于好氧状态时,表层沉积物中重金属的可交换态会转化为铁锰氧化物结合态^[6];当水体处于厌氧状态时,随着沉积物中高价铁、锰的还原,与之结合的重金属会释放到上覆水中,进而影响水质^[7]。另有研

究表明,沉积物再悬浮过程也会对沉积物重金属的形态转化以及沉积物-水界面重金属释放产生较大的影响。例如,还原态沉积物由于再悬浮而与氧气得到充分接触,使得沉积物中重金属的可氧化态含量降低,同时,再悬浮过程会加快溶解性重金属由沉积物向上覆水的释放速率,导致水体中重金属浓度快速增加^[8]。

湖泊水体富营养化最直接的反映就是蓝藻暴发,蓝藻在暴发以及死亡期间会大量消耗水体中的氧气,造成局部厌氧,并可能导致沉积物形成厌氧环境,进而对沉积物重金属的生物地球化学过程产生影响。如孔明等认为,与铁锰氧化物结合的 Pb 会因蓝藻暴发之后造成水体严重缺氧而重新释放出来^[9]。汤雨霖等研究表明,蓝藻在生长过程中会降低沉积物对 Hg 的固定效果,明显提高了水体中 Hg 的含量^[10]。但是,目前大部分研究只关注到了蓝藻聚集、暴发以及死亡分解的单一过程对湖泊中重金属的影响,而没有考虑到蓝藻从生长到死亡的全部过程。实际上,湖泊中的蓝藻是经历了一个早期萌发、聚集腐烂以及后期复氧的过程,这个过程不仅会引起沉积物-水界面的溶解氧发生变化,还能够改变 pH 值、氧化还原电位等条件,从而对沉积物-水界面重金属的地球化学特征产生显著影响^[11-12]。

长荡湖是位于江苏省常州市的浅水湖泊,平均水深约

收稿日期:2017-06-01

基金项目:国家自然科学基金(编号:41371479);江苏省社会发展项目(编号:BE2016811)。

作者简介:陈镜伊(1992—),女,江苏无锡人,硕士,主要从事污染水体中重金属的吸附和控制研究。E-mail:2275281005@qq.com。

通信作者:唐婉莹,博士,副教授,主要从事仪器分析研究。E-mail:wytang@njust.edu.cn。

[10]李德成,张甘霖. 中国土壤系统分类土系描述的难点与对策[J]. 土壤学报,2016,53(6):1563-1567.

[11]刘多森. 关于水稻土研究中的某些认识[J]. 土壤,2005,37(4):463-464.

[12]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.

[13]湖南省农业厅. 湖南土种志[M]. 长沙:湖南省农业厅,1987.

[14]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2000.

[15]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.

[16]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.

[17]冯旆. 长沙市水耕人为土典型土系分类——指标体系构建[D]. 长沙:湖南农业大学,2016.

[18]全国土壤普查办公室. 中国土壤普查技术[M]. 北京:农业出版社,1992.