

文章编号: 1008-2786-(2009)6-727-08

西南地区水耕人为土诊断层土壤特性及 SEM 特征

何毓蓉¹, 徐祥明^{1,2}, 刘 黎¹

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 对我国西南地区代表性水耕人为土诊断层土壤特性进行研究, 并采用扫描电镜 (SEM) 进行土壤微形态研究, 结果表明: 不同母质和发育程度的水耕人为土, 在土壤特性及在剖面上的变化特征都有明显差别。通过 SEM 观察研究表明: 粗、细颗粒物质形态与矿物组成密切相关, 如以薄片状、针条状等细粒物质为主的土壤, 在水耕条件和外力作用下, 易于定向、粘结聚合而引起土壤压实和板结。水耕人为土的微团聚体含量少而分散, 对肥力的贡献有限。长期培肥的水耕人为土能够形成丰富的各类微孔隙和微结构类型, 是调节土壤水、热、气和养分状况的主要机制。

关键词: 水耕人为土; 土壤特性; SEM 特征; 西南地区

中图分类号: S115.4⁺2

文献标识码: A

我国是世界上最早种植水稻的国家, 根据考古发现我国种稻历史 > 7 000 a。目前我国的水稻产量占世界的 40%, 稻田面积占世界 23%^[1]。长期的人为淹水耕作熟化, 使稻田土壤形成了一种新的土壤类型。我国土壤学家朱莲青等, 早在 1938年就提出了“水稻土”作为独立土壤类型及其层次分类方法^[2]。1986年国际土壤学界以 A.Kosse 为代表的学者, 在土壤分类上采纳了我国学者的分类建议, 将其列入人为土纲的一个亚纲, 并且按我国学者的研究结果, 以水分类型划分土类^[3]。1991年我国按照国际土壤系统分类的理论和方法, 建立了中国土壤系统分类方案。在土壤系统分类制中, 首次并且正式将水稻土归为人为土纲的“水耕人为土”亚纲^[4]。与此同时反映我国 50 a 水稻土研究成果的《中国水稻土》(1992)出版了。这部专著从水稻土的形成、分布和分类, 基本特性, 养分状况和调节, 以及土壤管理和改良等各学科专业层面上进行了系统总结^[5]。近 20 年来, 我国关于水稻土的研究一直都非常活跃, 检索核心期刊物的相关论文近千篇之多。这些都说明, 我国水稻土研究始终是热点, 并在很多领

域处于世界科学研究前沿。

在 20 世纪 80 年代初, P. Smart 和 N. K. Tdvey (1982)就指出扫描电子显微镜 (SEM) 在土壤学, 特别是在土壤颗粒和结构性研究应用方面具有明显的优势^[6]。与传统土壤微形态学采用光学显微镜技术相比, 研究的微观空间尺度, 能够将放大倍率提高到上千倍, 甚至上万倍, 并且是从三维空间观察和研究土壤微形态。但是我国应用 SEM 对土壤学的研究, 相比其他领域却十分薄弱。研究报道很少。涉及的专业领域也很有限。如: 谢萍若等对我国辽西褐土微形态的研究^[7]; 佟金等对土壤和橡胶根界面粘附特征和机制的研究^[8]; 东野光亮等对黄河三角洲冲积母质土壤的矿质成分、有机质和形成物及其抗蚀性的微观研究^[9]; 郭玉文等对黄土高原灌溉农田土壤团粒与碳酸钙的研究^[10]; 何毓蓉等对中国紫色土微结构类形的研究^[11]; 张季如等对土壤孔隙及其分型特征的研究^[12]。但却尚未见到关于水稻土 (水耕人为土) 的 SEM 研究结果报道。

西南地区是我国水稻主要种植区之一, 具有山地丘陵区 and 山间平原稻田分布的特色。稻作历史悠

收稿日期 (Received date): 2009-05-12.

基金项目 (Foundation item): 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-YW-409). [This work was supported by Knowledge Innovation Program of CAS (KZCX2-YW-409).]

作者简介 (Biography): 何毓蓉, 男, 成都人, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤地理和土壤微形态研究. [He Yurong male, from in Chengdu, Professor. Ph.D tutor. Main research interest in pedogeography and soil micromorphology.] E-mail: yrh@imde.ac.cn

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

久,成土条件复杂多样,形成的水耕人为土类型齐全且较为典型,十分有利于开展水耕人为土的基础研究。本文在该区选择几类不同发育程度的代表性水耕人为土,研究其主要诊断层的土壤特性和 SEM 微形态特征,为该领域研究提供初步基础研究结果。

1 研究样品和方法

1.1 样地和样品

按土壤发生学分类方法对调查剖面进行发生层划分,并根据中国土壤系统分类关于诊断层的划分原理和方法,进行诊断层(诊断特性)与发生层间的参比。

研究样地分别选在西南地区:(1)成都市龙泉山前,第四系晚更新统的黄色沉积物(成都粘土, Q_3)母质发育老稻田(剖面编号 LJ03);(2)四川广汉市三星堆遗址,第四系上更新统的黄色沉积物(广汉粘土, Q_{2-3})母质发育古稻田(剖面编号 GS05);(3)云南大理古城郊坡积裙和洱海湖交界处,现代河湖相冲积物母质发育老稻田(剖面编号 YD12);(4)贵阳市郊花溪区山间谷地,喀斯特风化黄色母质发育稻田(剖面编号 GH15)。上述样地都为水旱轮作稻田。样地的其他自然环境概况参见文献[13-15]。

1.2 研究方法

对土壤剖面分层采样,风干后按常规方法,进行土壤理化特性实验分析,其中土壤有机质测定用重铬酸钾湿烧法,机械组成用吸管法, pH 用电极法测定。

选择各诊断层有代表性的原状土样,以日立 S-3000型扫描电镜(SEM)观察土壤微形态(倍率:500~3000倍)。

部分土壤诊断层取原状土样干燥后,采用环氧树脂-三乙醇胺法制土壤薄片,以偏光显微镜观察和研究土壤微形态(倍率:20~100倍)。

对土壤剖面主要诊断层土壤,分别用原土粉末和提取粘粒,按标准方法处理样品后,进行 X-射线衍射仪分析,鉴定土壤矿物(包括粘土矿物)组成。

2 结果和讨论

2.1 土壤诊断层特性

表1是代表性研究剖面诊断层(发生层)的构

造及主要理化特性。供研究的几个水耕人为土剖面在诊断层之一的水耕表层,都由水耕耕作层(简称为耕作层, A)和犁底层(P)两个发生层组成。其次是氧化-还原层,都有一个或数个具有氧化-还原及其淀积特征的发生层组成。因为本研究选择的剖面都属于水旱轮作田,地下水位低,故氧化-还原层的发生层亚层组合相似。多为犁底层下出现氧化还原淀积层(B_{in}),其下多为氧化还原锥形层(B_c)。个别为还原性亚层(B_g)。

不同地区的水耕人为土,母质来源和耕作熟化程度等条件有所不同,所以土壤特性也有明显差异(表1)。(1)在土壤颗粒组成上,发育于第四系的沉积黄粘土母质的 LJ03和 GS05剖面,粘粒含量在 214.8~644.7 g/kg 在 B_{in}、B_c或 B_g层富积,随深度增加而增多。表明在长期水耕条件下,粘粒有水耕淋淀特征。发育于喀斯特黄粘土母质的 GH15剖面,粘粒含量在 223.4~394.9 g/kg 不同诊断层有明显变化,但与前述剖面不同,土壤粘粒含量是上层比下层和母质层高,表明该剖面水耕历史较短,土壤水耕淋淀过程弱。而发育于河湖相冲积母质的 YD12剖面,由于母质颗粒成分以粗颗粒为主,粘粒含量少,仅在 38~64 g/kg 各诊断土层间粘粒含量尚无分异特征。(2)几种水耕人为土的酸碱度有一定差别。LJ03剖面诊断层呈酸性,母质层为中性。GS05和 GH15剖面诊断层在中性和微碱性间。YD12剖面各土层在微酸性至中性。土壤酸碱性主要受母质条件,特别是所含碳酸钙的影响,水耕对盐基的淋洗作用还不足以完全改变土壤反应。如四川广汉黄粘土中含多量钙质结核,贵阳花溪的黄粘土受石灰岩中碳酸钙淋溶侵入,所以两剖面尽管都长期水耕种稻,但土壤反应仍偏碱性。(3)土壤活性有机质含量以 YD12剖面最丰富,水耕诊断层可达 23.2~80.1 g/kg,其次 GS05剖面诊断层在 11.9~32.7 g/kg, GH15剖面最低,水耕表层都仅为 6.6 g/kg。不同土壤的有机质含量特征的差异,主要表现在剖面分布上。发育程度愈强的水耕人为土,高有机质含量(>10 g/kg)分布特征,可达到水耕氧化还原层,本研究的几类土壤剖面高有机质含量层深度可达 58~90 cm。

2.2 土壤的 SEM 特征

2.2.1 土壤骨骼颗粒和细粒物质特征

1. 骨骼颗粒 在 SEM 条件下进行土壤微形态学研究,观察 >2 μm 的骨骼颗粒,可以完全满足要求。

表 1 代表性土壤剖面诊断层的基本特性

Table 1 Basic properties of diagnostic horizon of typical profiles

地点 编号	土壤 层次	土壤 深度 (cm)	颗粒组成 (粒径 mm , 含量 g/kg)			pH (1: 1)	有机质 (g/kg)
			2 ~ 0. 05	0. 05~ 0. 002	< 0. 002		
成都龙泉山 /LJ03	A	0— 16	539. 1	88. 6	372. 4	4. 22	18. 7
	P	16— 26	497. 6	100. 9	401. 5	4. 72	17. 3
	B in	26— 37	500. 7	36. 2	463. 1	4. 74	19. 3
	B c	37— 58	482. 2	8. 0	509. 8	4. 99	15. 4
	C	58— 85	335. 0	20. 3	644. 7	6. 50	—
四川广汉市 三星堆 /GS05	A	0— 20	371. 5	413. 7	214. 8	6. 45	32. 7
	P	20— 32	409. 8	373. 6	216. 6	7. 79	15. 9
	B ir	32— 64	335. 9	343. 2	320. 9	7. 91	11. 9
	B ig	64— 80	187. 8	388. 7	423. 5	7. 77	—
	C	80— 100	191. 8	285. 4	522. 8	—	—
云南大理 古城郊 /YD12	A	0— 25	498. 2	440. 4	62. 1	6. 22	80. 1
	P	25— 30	473. 9	468. 3	58. 0	6. 36	51. 4
	B in	30— 70	521. 8	430. 3	48. 2	6. 83	23. 2
	B c	70— 90	550. 4	411. 8	38. 0	6. 87	24. 5
	Cg	90— 150	256. 3	680. 1	64. 3	6. 94	—
贵阳花溪 /GH15	A	0— 20	220. 4	384. 7	394. 9	7. 58	6. 6
	P	20— 31	222. 9	419. 3	357. 8	7. 71	5. 4
	B in	31— 43	327. 1	412. 7	260. 2	7. 71	5. 1
	B c	43— 65	309. 3	446. 9	243. 8	7. 40	5. 7
	Cg	65— 90	291. 9	484. 7	223. 4	7. 04	7. 0

多数剖面土壤骨骼颗粒占 50% ~ 80%。而 YD12剖面骨骼颗粒达 90%。一般沙粒称为粗骨骼颗粒, 粉沙称为细骨骼颗粒。除 LJ03剖面粗骨骼颗粒较多, 细骨骼颗粒特别少, YD12剖面粗和细骨骼颗粒都较丰富外, 其他剖面则是细骨骼颗粒较多。在 SEM 下观察, 除能够看出剖面土壤骨骼颗粒的这种分布特征外, 还可看出形态特征上也有明显差异。如 LJ03剖面骨骼颗粒呈角块状, 颗粒表面粗糙, 有较多的擦痕(照片 1)。可能由母质形成时颗粒相互划擦留下的痕迹。但也不排除是长期水耕作用犁耕使颗粒间摩擦形成的。多数土壤骨骼颗粒呈不规则的形态, 磨园度不明显(照片 2~ 8)。同时由于水耕熟化过程, 在水耕表层, 甚至氧化还原层都能够发现骨骼颗粒中有多量的有机质类粗骨骼颗粒(照片 6)。

从骨骼颗粒的形态虽然不易明确判断矿物类型, 但根据形成条件或有特殊形态特征的骨骼颗粒, 也可初步判定其矿物类型(照片 1~ 8)。如不规则、等轴、棱角特征明显的骨骼颗粒, 大多为石英(Q)。

长条状或针状的多为云母(M)。条块状有模糊解理特征的多为长石(F)。GS05剖面下层有钙质颗粒或结核(Ca)。YD12剖面骨骼颗粒中, 呈现完全解理页状微形态的颗粒(照片 4左下角), 多可能为黑云母或蛭石类矿物(M)。这些矿物组成特征, 从土壤薄片的镜检鉴定(照片 9~ 13)和 X-射线衍射图谱都可得到印证。

2. 细粒物质 母质来源对细粒物质(< 2 μm 的颗粒)的类型和形态有重要影响。除 YD12剖面土壤外, 其他剖面的母质风化程度较深, 同时比较研究看出, 长期水耕条件的土壤剖面在 B 层细粒物质相对较丰富(照片 2、5)。细粒物质在形态上, 一般为薄片状、卷片状、细粒状、细块状、细条状、薄板状、短棒状、针状等(照片 4~ 8)。由于水耕条件, 土体中细粒物质彼此紧密相连, 构成连续物相, 尤其是占多量的薄片状、薄板状、细条状和针状形态等的细粒物质易于定向和粘结聚合(照片 5)。这可能是水耕分散和耕作压力作用下, 土壤易板结紧实的重要原因。

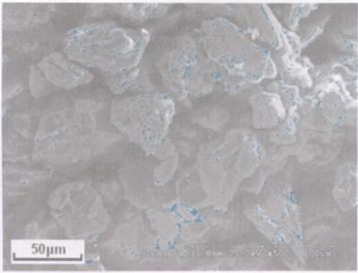


Photo 1.LJ03P (SEM)

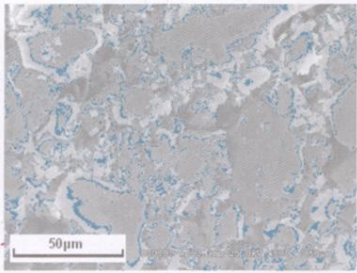


Photo 2.LJ03Bim (SEM)

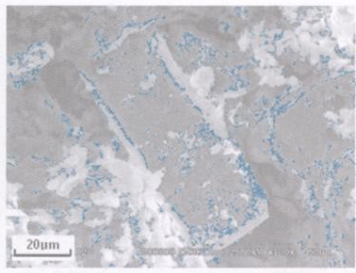


Photo 3.GS05Big (SEM)

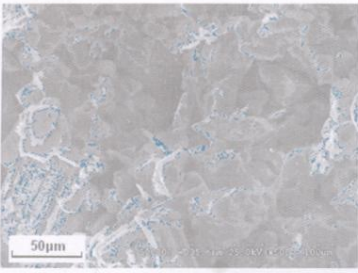


Photo 4. YD12Bim (SEM)

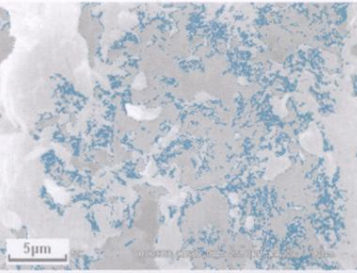


Photo 5. GS05P (SEM)

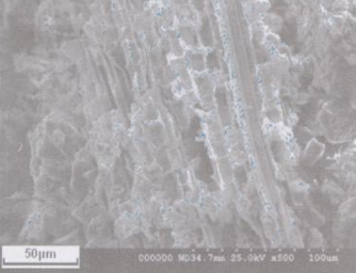


Photo 6.GH15Bim (SEM)

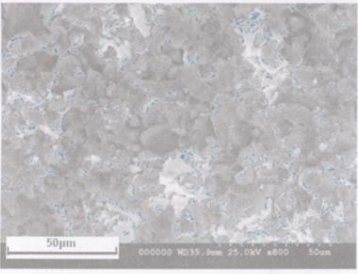


Photo 7. GH15P (SEM)

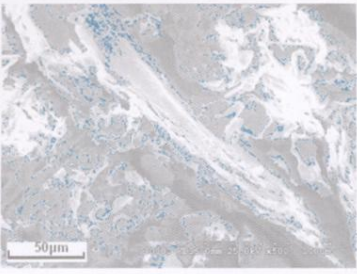


Photo 8. LJ03A (SEM)

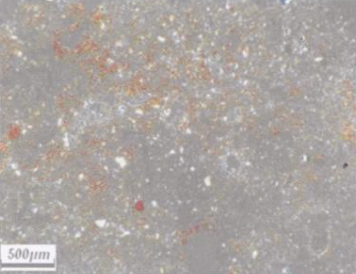


Photo 9.LJ03Bim (XPL)

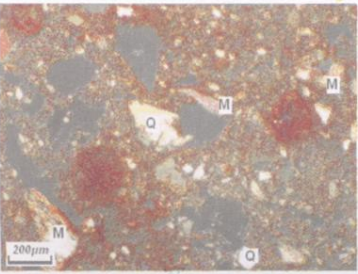


Photo 10.GS05Bir (XPL)

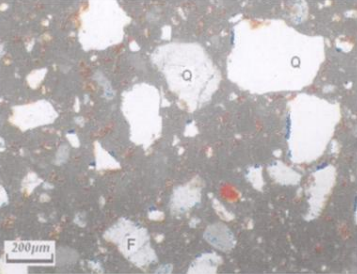


Photo 11.GH15Bc (XPL)

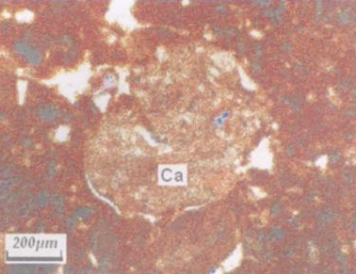


Photo 12.GS05Bir (PPL)

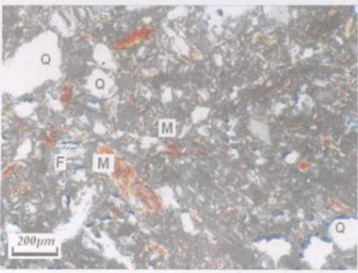


Photo 13.YD12Bim (XPL)

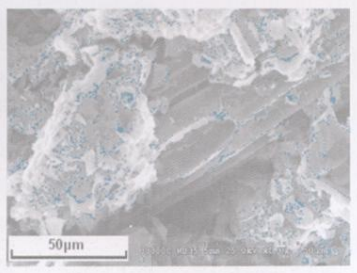


Photo 14. YD12A (SEM)

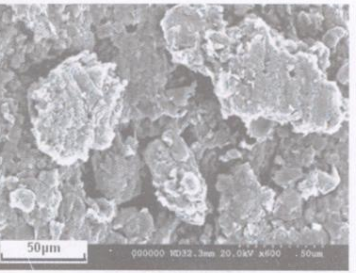


Photo 15.GS05A (SEM)

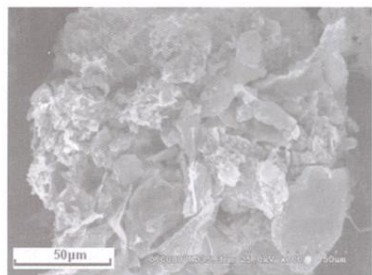


Photo 16.YD12A (SEM)

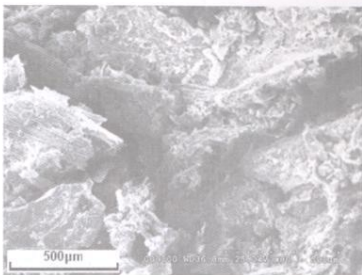


Photo 17.YD12A (SEM)

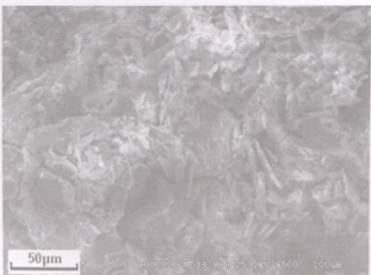


Photo 18.LJ03Bim (SEM)

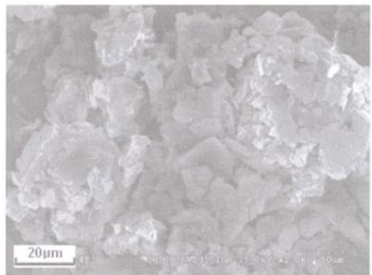


Photo 19.GS05Bir (SEM)

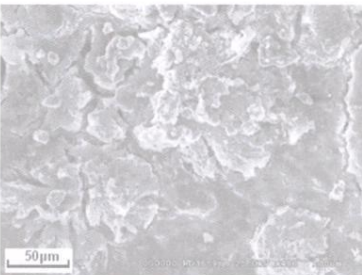


Photo 20.GS05Bir (SEM)

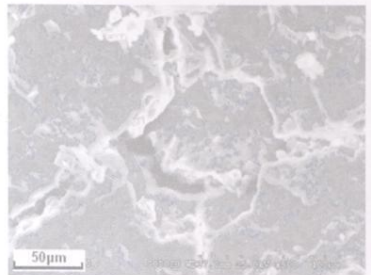


Photo 21.GS05Big (SEM)

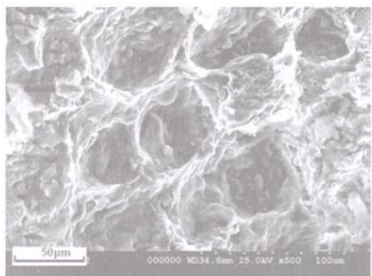


Photo 22.GH15Bim (SEM)

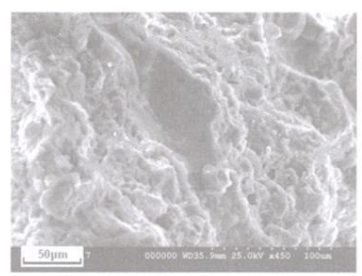


Photo 23.GH15Bc (SEM)

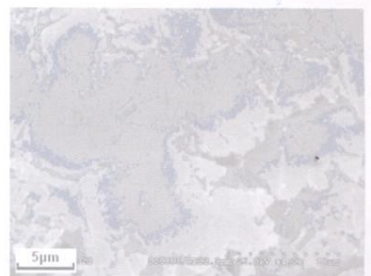


Photo 24.LJ03Bim (SEM)

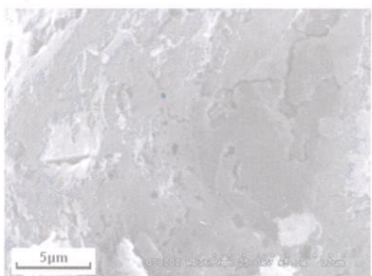


Photo 25.GS05Big (SEM)

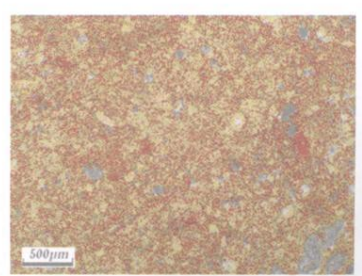


Photo 26.GS05Big (PPL)

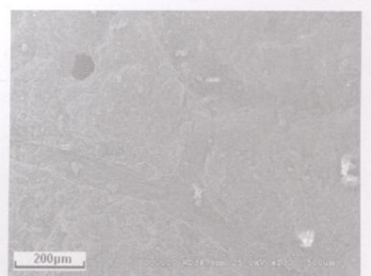


Photo 27.YD12P (SEM)

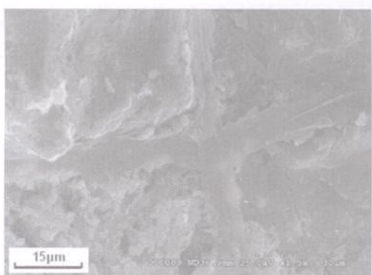


Photo 28.GS05Bir (SEM)

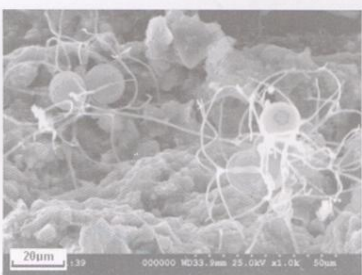


Photo 29.GH15Bim (SEM)

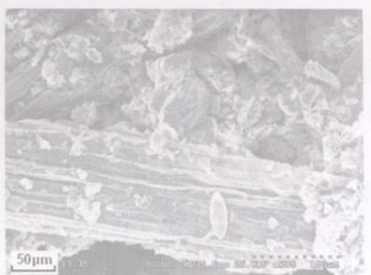


Photo 30.YD12A (SEM)

之一。根据剖面诊断层土壤粘粒 X-射线衍射分析鉴定结果(代表剖面图谱如图 1),不同剖面 and 诊断层粘土矿物组成和丰度不同。但主要粘土矿物中都有多量次生石英、蛭石、高岭石和伊利石。有长期水耕栽培历史的,如 LJ03 GS05剖面含少量蒙脱石,风化较强烈的 GH15剖面含三水铝石。同时从衍射峰的强弱看出,不同剖面粘土矿物含量有明显差别(详细研究结果将另文报道)。各类粘土矿物或有不同形态,如蛭石、伊利石等多以薄片状为主,亦有针状、条状形态;高岭石等多为薄板状、细粒状颗粒;蒙脱石多为卷片状形态等。所以不同粘土矿物组成的细粒物质对土壤特性有重要影响。

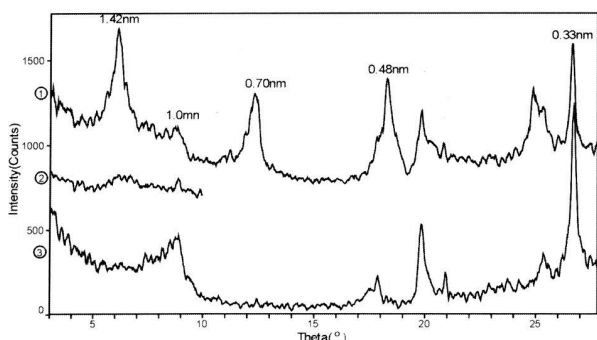


图 1 土壤粘粒 ($< 2 \mu\text{m}$) 的 X-射线衍射谱

Fig 1 X-ray diffraction Patterns of Soil clay fraction ($< 2 \mu\text{m}$)
GH15剖面 P层, ①Mg饱和, ②加甘油, ③K饱和和加热 550°C

2.2.2 土壤微结构特征

以 SEM 观察土壤微结构是三维图象,所以能够准确地区分颗粒体与结构体、土壤微孔隙类型以及微结构类型等。

1. 土壤微结构体 在水耕人为土的水耕表层,一般发现的微团聚体都很少,多数团聚形态也不规则且多呈分散状态(照片 14 15)。不像旱作土壤那样彼此聚积,或再聚合成多级团聚体。从 SEM 图象上分析水耕人为土微团聚体的形成,可明显看出水耕条件下,水分张力的作用(照片 16)。同时,即便是长期培肥的水耕人为土微团聚体都很少且分散,对稻田肥力贡献有限。因此有必要重新审视现有对水耕人为土微团聚体的认识^[16-18]。

2. 土壤微孔隙 所研究的几类水耕人为土都有较丰富的各种类型的微孔隙,特别是在 A 层。如在各土层都有较多的孔道状微孔隙(照片 17)、粒间微孔隙(照片 1~8 14 18 19);其他诊断层还有一定数量特殊的树枝状微孔隙(照片 20)、放射状微孔隙

(照片 21)、蜂巢状微孔隙(照片 22)、室状微孔隙(照片 23)等。这些微孔隙的孔径多在 $5 \sim 200 \mu\text{m}$,属具有通气性、水分储存传输的有效性孔隙。多是在水耕条件下,由水分、耕作、施肥、动植物等综合作用下形成的。不难发现,这些微孔隙是在淹水条件下,保障水稻根系正常生长发育,保持土壤适当的氧化-还原环境、保证水气养分转化、供应、传导和交换等必要的土壤条件。对水耕人为土土壤肥力特性的影响,相对于微结构体来说,土壤微孔隙的类型组合、数量和剖面分布状况,对水耕人为土肥力有更重要的意义。通过深入研究,也可将其作为土壤系统分类重要的微形态特征指标。

3. 土壤微结构类型 目前还没有建立学术界认可、适于 SEM 的土壤微结构分类体系。本文根据作者在紫色土 SEM 研究时曾提出的分类方案^[11],以及 ISS(国际土壤学会)推荐的土壤微形态学关于土壤微结构分类系统^[19,20],并结合水耕人为土的微结构特点,对水耕人为土的微结构进行分类命名。不同诊断层有不同的土壤微结构类型特征和组合。一般在 A 层,多出现的土壤微结构类型有(除注明外,照片同前):粒间孔隙微结构,团粒状微结构,孔道状微结构。在 B 层多见粗颗粒聚积状、细颗粒聚积状微结构。不同剖面可能有某些特别的微结构类型,如树枝状孔隙、放射状孔隙、蜂巢状及室状孔隙微结构类型等。此外较常见的是具有明显压实特征的壁状微结构(照片 24 25),这种微结构也常在 P 层出现, A 层中偶见。从土壤薄片镜下也可见到其非常致密和紧实的特征(照片 26)。在诊断层中较多见的还有块状、角块状(棱块状)、龟裂和裂隙状微结构。由上可见水耕人为土也形成了一些特殊的微结构类型。

2.2.3 土壤形成物

以 SEM 观察的物像为黑白和灰度图象,不能从色彩上分辨土壤形成物。但在某些不以颜色为区分条件的土壤形成物,仍可进行鉴别和研究。在水耕人为土诊断层比较多见的土壤形成物如印模形成物(减耗形成物),在有的剖面 P 层可看到的类似细根形态的印模形成物(照片 27)。在高度熟化培肥的水耕人为土常见胶膜状形成物,对土壤结构的稳定性有明显的影响(照片 28)。反映土壤肥力状况的微生物形成物也常在诊断层中,特别是 A、P 层多见(照片 29)。另外动植物残遗体、花粉等形成物则在肥力较高的水耕人为土,主要诊断层有较多分布

(照片 6 14 30)。

3 结论

1. 选择西南地区几种代表性水耕人为土剖面, 对主要诊断层土壤与 SEM 土壤微形态密切相关的土壤特性进行研究, 结果表明: 不同母质发育的水耕人为土, 土壤颗粒组成、酸碱度有明显差别。不同水耕熟化程度的水耕人为土有机质含量, 特别是在剖面诊断层或土层深度上的分布有显著不同的特点。这些不同特征与土壤 SEM 微形态特征相结合, 对分析土壤肥力、形成机制和土壤系统分类都有明显的意义。

2. 对水耕人为土诊断层土壤 SEM 微形态特征研究, 主要取得以下结果: (1) 不同母质和发育程度的水耕人为土, 骨骼颗粒和细粒物质在形态和大小上差别较大。长期水耕条件下的土壤剖面, 下层细粒物质增多, 有淋移特征。同时多数剖面诊断层的细粒物质, 由含有多为薄片状、针状、条状、薄板状等形态特征的伊利石、蛭石、高岭石等粘土矿物组成, 常常形成连续物相。在犁耕挤压、水力学作用等外力下, 易于定向和粘结聚合而引起土壤压实、板结状况。(2) 水耕人为土的土壤微团聚体在数量和形态上都与旱作土壤不同, 数量少且分散, 对土壤肥力的贡献很有限。在淹水和水耕条件下, 长期培肥的水耕人为土能够形成丰富的各类微孔隙和微结构类型, 如粒间孔隙、孔道状孔隙、树枝状孔隙、放射状孔隙、蜂巢状孔隙, 以及室状孔隙及其微结构类型。水耕人为土主要是通过形成良好微孔隙和微结构类型, 来调节土壤水、热、气和养分状况的。(3) 受不能观察颜色形态制约, SEM 技术在分辨有色土壤形成物方面是困难的。但对微生物活动形成物、耗减形成物、有机质残遗体的观察却非常有效。长期培肥的水耕人为土, 在各诊断层都能够发现大量的生物活动形成物。

参考文献 (References)

- [1] Cao Zhifeng Study of prehistoric irrigated paddy and ancient paddy soils in China [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(5): 784~791 [曹志洪. 我国史前灌溉稻田和古水稻土研究进展 [J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 784~791]
- [2] Zhu Lianqing, Ma Rongzhi, Song Daquan, et al. Classification and naming principles of paddy soils [J]. *Soil Special Issue, Beta*, 1938, 4: 73~78 朱莲青, 马溶之, 宋达泉, 等. 水稻土土层分类及命名法则 [J]. 土壤特刊, 乙种, 1938, (4): 73~78

- [3] Zhang Ganlin. Gong Zizong Classification of paddy soils as anthrosols [J]. *Progress in Soil Science*, 1991, (4): 30~36 [张甘霖, 龚子同. 水稻土作为人为土的分类研究 [J]. 土壤学进展, 1991, (4): 30~36]
- [4] Gong Zizong, et al. Chinese soil Taxonomy: Theory-Method-Practice [M]. Beijing: Science Press, 1999, 116~131 [龚子同, 等. 中国土壤系统分类: 理论·方法·实践 [M]. 北京: 科学出版社, 1999, 116~131]
- [5] Li Qingkui ed. Paddy Soils of China [M]. Beijing: Science Press, 1991, 3~545 [李庆远主编. 中国水稻土 [M]. 北京: 科学出版社, 1991, 3~545]
- [6] Synart P, Tdvey N. K. Electron Microscopy of Soil and Sediments [M]. Oxford: Techniques, Clarendon Press, 1982, 1~224
- [7] Xie Pingru, Zuo Jinglan, Ge Jikang. Studies on micromorphological features of some dlab soils in west Liaoning of China [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1985, 22(2): 177~181 [谢萍若, 左敬兰, 国际翔. 我国辽西几种褐土的微形态研究 [J]. 土壤学报, 1985, 22(2): 177~181]
- [8] Dong Ye, Guanliang, Qi Wei, Wang Yuanling. Study on soil erosion durability in Yellow River delta region [J]. *J. of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(1): 100~103 [东野光亮, 齐伟, 王瑗玲. 黄河三角洲土壤抗蚀性的微观研究 [J]. 水土保持学报, 2003, 17(1): 100~103]
- [9] Tong Jin, Ren Luquan, Sun Shiyuan. Scanning electron microscopy of soil micromorphology at the rubber/soil adhesion interface [J]. *J. Chin. Electr. Microsc. Soc*, 1993, 11(4): 348~351 [佟金, 任露泉, 孙世元. 土壤-橡胶粘附界面土壤表层微形态 SEM 研究 [J]. 电子显微镜学报, 1993, 11(4): 348~351]
- [10] Guo Yuwen, Wang Shuhong, Zhang Yulong, et al. Relationship of CaCO₃ and soil aggregates in irrigated soil of the Loess Plateau, China [J]. *J. of Shenzhen University Science and Engineering*, 2008, 25(3): 314~319 [郭玉文, 王淑红, 张玉龙, 等. 黄土高原灌溉农田土壤团粒与碳酸钙关系研究 [J]. 深圳大学学报, 2008, 25(3): 314~319]
- [11] He Yurong. Gong Adu. Structural features of Purple Soil [A]. In: He Yurong. Purple Soils in China (2) [C]. Beijing: Science Press, 2003, 158~162 [何毓蓉, 宫阿都. 紫色土的结构性 [A]. 见: 何毓蓉等. 中国紫色土 (下) [C]. 北京: 科学出版社, 2003, 158~162]
- [12] Zhang Jin, Huang Li, Zhu Jie. SEM analysis of soil pore and its fractal dimension on Micro Scale [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(2): 207~215 [张季如, 黄丽, 祝杰. 微观尺度上土壤孔隙及其分形维数的 SEM 分析 [J]. 土壤学报, 2008, 45(2): 207~215]
- [13] Xu Xiangning, He Yurong. Fractal characteristics of anthrosols and the relationship with soil micro-structure [J]. *Agricultural Sciences in China*, 2009, 8(5): 605~612
- [14] He Yurong, Xu Xiangning, Wu Xiaojun, et al. Diagnostic horizons characteristics and forming processes of ancient stagnic anthrosols: Case study on Sanxinglu site, Guanghan, Sichuan province [J]. *J. of Mountain Science*, 2008, 26(6): 672~677 [何毓蓉, 徐祥明, 吴晓军, 等. 古水耕人为土诊断层的特征与形成过程

- 研究——以广汉三星堆遗址水耕人为土为例[J]. 山地学报, 2008, 26(6): 672~ 677]
- [15] He Yurong Xu Xiangning Huang Chengning *et al* Micromorphological features of diagnostic horizon and its taxonomic significance of several soils in southwestem[J]. *J. of Mountain Science (China)* (Publishing)
- [16] Gao Ming Zhang Weij Wang Zifang *et al* Influence of soilwater regime on distribution of aggregates and concentration of Organic Carbon Therein in paddy soils developed from purple soils[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008 45(5) 944~ 950[高明, 张薇, 王子芳, 等. 水分状况对紫色母岩发育的水稻土团聚体及有机碳分布的影响[J]. 土壤学报, 2008 45(5): 944~ 950]
- [17] Tang Xiaohong Shao Jingan Gao Ming *et al* Effects of conservation tillage on aggregate composition and Organic Carbon Storage in purple paddy soil[J]. *Chinese J. of Applied Ecology*, 2007, 18(5): 1027~ 1032 [唐晓红, 邵景安, 高明, 等. 保护性耕作对紫色水稻土团聚体组成和有机碳储量的影响[J]. 应用生态学
- 报, 2007 18(5): 1027~ 1032]
- [18] Li Huixin Yuan Yinghong Huang Qianru *et al* Effects of long-term fertilization on Labile Organic Carbon in soil aggregates in Red Paddy Soil[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008 45(2): 259~ 266 [李辉信, 袁颖红, 黄欠如, 等. 长期施肥对红壤性水稻土团聚体活性有机碳的影响[J]. 土壤学报, 2008 45(2): 259~ 266]
- [19] He Yurong and He Xubin Current Situation in China and advances in soil micromorphology[A]. In *Soil Science Society of China* [C]. *Current Situation and Prospects of Soil Sciences in China* Nanjing: Hehai University Press 2007 41~ 63 [何毓蓉, 贺秀斌. 土壤微形态学的发展及我国研究现状[A]. 中国土壤学会编: 中国土壤科学的现状与展望[C]. 南京: 河海大学出版社, 2007 41~ 63]
- [20] Bullock P., Fedoroff N., Jongerius A, *et al* Handbook for Soil Thin Section Description[M]. Wolverhampton England: Waine Research Publications 1985: 115~ 230

Soil Properties and SEM Features of Diagnostic Horizon of Stagnic Anthrosols in Southwestem China

HE Yurong¹, XU Xiangning^{1, 2}, LU Li¹

(¹ Institute of Mountain Hazards and Environment Chinese Academy of Sciences Chengdu 610041, China;

² Graduate University of Chinese Academy of Sciences Beijing 100049, China)

Abstract The soil properties and ultramicrostructures of diagnostic horizon of typical Stagnic Anthrosols in southwestem China were studied by scanning electron microscopy (SEM) method. The results indicated that soil properties and variability of profiles showed obvious differences among Stagnic Anthrosols that developed from different parent materials and developed degrees. The SEM observation revealed that the morphologies of coarse and fine material were correlated to mineral composing closely, e. g. soils which were predominated by fine material of lamelliform and needle strip form were prone to compaction and hardened owing to the effect of orientation and polymerization under anthrostagnic condition and external forces. As the micro-aggregation of Stagnic Anthrosols was few and diffused, its contribution to fertility was limited. While a mass of various micro-pores and microstructures were formed in long-term fertility betterment soils, and this was the main mechanism to adjust water, heat, air and nutrient harmoniously in Stagnic Anthrosols.

Key words Stagnic Anthrosols soil property scanning electron microscopy feature southwestem region