

水分状况对紫色母岩发育的水稻土团聚体 及有机碳分布影响^{*}

高 明¹ 张 薇² 王子芳¹ 魏朝富¹ 郑杰炳³

(1 西南大学资源环境学院, 重庆 400716)

(2 中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部, 昆明 650223)

(3 重庆地质矿产研究院, 重庆 400042)

摘 要 在紫色丘陵区采集了因水分状况影响而形成的 4 种类型紫色水稻土土样, 利用湿筛法获得不同粒径的团聚体, 分析了其有机碳和不同土壤发生层中易氧化碳、微生物生物量碳和水溶性碳含量。结果表明, A 层土壤中 > 2 mm 的团聚体以潜育型水稻土和渗育型水稻土最高, 分别占 76.65% 和 75.92%, 其次是潜育型水稻土占 43.86%, 淹育型水稻土只有 13.10%; 不同土壤发生层间土壤团聚体的组成也存在较大的差异; 除潜育型水稻土的 P 层外, 其余各层土壤的有机碳 53.7% ~ 96.2% 均分布在 > 0.25 mm 团聚体中; 潜育型水稻土的微生物生物量碳和易氧化碳含量在 4 种水稻土中最高, 分别为 282.5 mg kg⁻¹ 和 6.59 g kg⁻¹, 水溶性有机碳则以渗育型水稻土最高; 有机碳含量与 > 2 mm 团聚体含量呈极显著正相关关系, 与 < 0.25 mm 微团聚体数量呈显著负相关关系。

关键词 水分状况; 紫色水稻土; 团聚体; 有机碳

中图分类号 S152.4 文献标识码 A

土壤团聚体是土壤结构最基本的单元, 是土壤的重要组成部分, 对土壤的许多物理化学性质以及生物化学性质有重大影响^[1,2], 长期以来一直受到科研工作者的极大关注。近年来, 国内外在土壤肥力与土壤团聚体和微团聚体的研究方面取得了显著的成绩, 特别是国内近些年对土壤微团聚体与土壤肥力之间关系的研究较多^[3-6]。孙天聪等^[7]研究了长期施肥对有机碳、全氮、硝态氮和铵态氮在不同粒级土壤团聚体中分布的影响。李辉信等^[8]研究了施肥对红壤水稻土不同发生层团聚体组成、有机碳含量及有机碳库分布的影响, 结果表明, 施肥处理有利于 1~3 mm 和 0.25~1 mm 团聚体含量增加。不同粒径团聚体中有机碳含量有明显差异, 施肥处理增加的新碳主要向 1~3 mm、0.25~1 mm 团聚体富集。潘根兴等^[9,10]对太湖地区水稻土、红壤旱地和江淮丘陵旱地土壤的研究发现有机碳积累量与 2 000~250 μm 团聚体有机碳含量密切相关。因此, 从土壤团聚体的角度来研究有机碳转化与结合机制对解释农业土壤有机碳的固定机制有着十分重要的作用。

影响土壤团聚体和有机碳含量的因素很多, 其中土壤水分是最重要的因素。早在 20 世纪 30 年代, 我国土壤学家候光炯、马溶之和熊毅等认为水稻土发育深受水分的影响, 提出水稻土的三育(淹育、潜育和潜育)分类原则^[1]。Ponnamperuma^[11]和 Yu^[12]等研究表明, 水分状况影响水稻土矿质元素活化、淋溶和淀积, 以及营养元素的转化, 土壤的物理及生物化学性质, 继而影响作物生长。迄今为止, 对土壤团聚体有机碳分布的研究主要集中于森林土壤^[13]、旱地土壤^[14]和有机物料处理后的土壤^[15], 对水稻土的研究则主要集中在施肥和不同耕作措施对土壤碳、氮和团聚体的影响^[15,8,16], 而不同水分类型对稻田土壤团聚体和有机碳的影响研究报道却甚少。本文通过采集不同水分状况(因地形部位和轮作方式不同而引起)影响下形成的潜育型、渗育型、淹育型和潜育型水稻土土样, 测定不同土壤层次中团聚体和有机碳在不同粒级的土壤团聚体中的含量, 旨在探讨稻田生态系统中有机碳与土壤团聚体之间的关系, 为稻田土壤对全球碳循环

* 国家科技支撑计划项目 (2006BAD05B01-02 和 2008BABA7B09-03) 和重庆市自然科学基金项目 (9066) 资助

作者简介: 高明 (1965-), 男, 重庆合川人, 博士, 研究员, 主要从事土壤质量与环境的研究, 发表论文 50 余篇

收稿日期: 2007-11-29; 收到修改稿日期: 2008-03-06

的影响提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

根据土壤水分状况和轮作方式的差异,本试验选取了 4 种水稻土类型。潜育型水稻土采自重庆市九龙坡区白市驿镇,按土壤发生层,分耕作层(A: 0~ 15 cm)、犁底层(P: 16~ 23 cm)和潜育层(W: 24~ 63 cm)三层进行采样。渗育型水稻土采自重

庆市沙坪坝区西永镇,分耕作层(A: 0~ 19 cm)和渗育层(P: 20~ 45 cm)二层进行采样。淹育型水稻土采自重庆市北碚区歇马镇,分耕作层(A: 0~ 25 cm)和潜育层(W: 26~ 52 cm)二层进行采样。潜育型水稻土采自西南大学紫色土长期定位试验点,分耕作层(A: 0~ 25 cm)、犁底层(Pg: 26~ 42 cm)和潜育层(G: 43~ 63 cm)三层进行采样。每层土样均由五点取样后混合而成。采集到的土壤样品在室温下风干后挑去肉眼可见的植物根系,磨细过筛备用。供试样品的基本性状见表 1。

表 1 供试土壤的基本性状
Table 1 Basic properties of tested soils

土壤类型 Soil type	地形 Land form	利用方式 Farming system	层次 Horizon	深度 Depth (cm)	颜色 Color	结构 Structure	新生体 Renesences	pH (H ₂ O)	有机碳 TOC (g kg ⁻¹)
潜育型水稻土 Hydromorphic paddy soil	浅丘平坝	水稻—蔬菜	A	0~ 15	棕灰	核粒状	无	7.2	5.31
			P	16~ 23	棕灰	扁块状	锈斑	7.2	5.03
			W ₁	24~ 63	浅灰	棱柱状	锈斑、结核	7.5	3.84
渗育型水稻土 Percogenic paddy soil	浅丘坡麓	水稻—关冬水	A	0~ 19	紫灰	团粒状	无	6.7	12.38
			P	20~ 45	棕灰	块状	铁锰斑点	6.9	11.23
淹育型水稻土 Sulmurgenic paddy soil	中丘坡腰	水稻—玉米	A	0~ 25	灰棕	团粒状	无	7.6	3.82
			W	26~ 52	棕灰	块状	锈斑	7.8	3.61
潜育型水稻土 Gleyed paddy soil	冲沟沟底	水稻—关冬水	A	0~ 25	灰棕	粒状	锈纹	7.3	19.11
			Pg	26~ 42	灰棕	小柱状	锈纹	7.3	17.37
			G	43~ 63	灰棕	粒状	无	7.4	9.15

1.2 分析测定方法

1.2.1 土壤基本性质的测定 按文献[33]的方法测定。

1.2.2 土壤团聚体的分离与测定 团聚体分离方法采用 Elliott^[21]描述的湿筛法,土壤通过 2 000、250 和 53 μm 筛子获得 > 2 000、250~ 2 000、53~ 250、< 53 μm 四个等级团聚体。具体方法为:称取过 8 mm 筛的土样 100 g 迅速浸没在 2 000 μm 筛子上的去离子水中,浸泡 5 min,这个过程主要是由于土壤浸入水中,不稳定团聚体由于内部空气和压力作用而破裂。然后,在水中用手提筛子在 2 min 内上下 3 cm 移动 50 次,保留在 2 000 μm 筛子上的为 > 2 000 μm 粒径团聚体组分,在 250 μm 筛子上的为 250~ 2 000 μm 粒径团聚体组分,在 53 μm 筛子上的为 53~ 250 μm 粒径团聚体组分,通过 53 μm 筛子的为 < 53 μm 粒径团聚体组分。将所有组分在 50℃条件下烘干,磨细测定有机碳含量。

1.2.3 易氧化碳的测定 按 Blair 等^[34]提出的

易氧化碳测定方法。具体方法为:称取过 2 mm 筛的含 C 15~ 30 mg 的风干土样于 100 ml 离心管中,加入 333 mmol L⁻¹ KMnO₄ 25 ml 在 25℃条件下振荡 1 h 离心 5 min (2 000 r min⁻¹),取上清液用去离子水按 1:250 稀释,然后将稀释液在 565 nm 比色,重复 3 次。根据 KMnO₄ 浓度的变化求出样品的活性有机质。

1.2.4 土壤微生物生物量碳的测定 采回的新鲜土壤立即处理或保存在 4℃冰箱中,测定前仔细除去土样中可见植物残体(如茎、叶和根)及土壤动物(蚯蚓等),过 2 mm 筛,彻底混匀。采用氯仿熏蒸浸提法测定土壤微生物生物量碳^[33]。

1.2.5 水溶性碳的测定 采用 Liang 等^[35]提出的方法:称取过 2 mm 筛新鲜土样 10 g 于 100 ml 离心管中,加入 25 ml 去离子水,在振荡机上以 250 振荡 30 min,然后以 4 000 r min⁻¹ 离心 10 min,用 0.45 μm 玻璃滤纸过滤得上清液。测定上清液中有有机碳含量即为土壤中水溶性碳的含量。

2 结果与分析

2.1 水分状况对紫色水稻土团聚体的组成影响

水稻土的形成发育和肥力特征, 既受农业生产活动的影响, 也受地形水文、母质种类以及气候与耕作制度的影响^[2]。同一母质, 相同气候条件和耕作制下, 不同水分状况对紫色水稻土团聚体的组成影响情况从表 2 可以看出, 4 种类型水稻土中, A 层除淹育型水稻土外, 其余 3 种水稻土均是 > 2 mm 粒级土壤所占比例最大, 达 40% 以上。潜育型水稻土和潜育型水稻土土壤粒级越小, 所占比例越小。渗育型水稻土与它们相似, 但 0.053~0.25 mm 和 < 0.053 mm 粒级所占比例均不足 3%, 且以 0.053~0.25 mm 粒级所占比例最小。淹育型水稻土以 0.25~2 mm 粒组为主, 其含量近 40%, 其次为 0.053~0.25 mm 和 < 0.053 mm 团聚体颗粒, > 2 mm 颗粒所占比例最小。李恋卿等^[17]研究表明, 太湖地区黄泥土、乌泥土、白土三种土壤团聚体粒组均以 0.25~2 mm 为主, 含量分别为 40.8%、38.3% 和 49.9%; 富含氧化铁的江西旱地红壤, 团聚体粒组以 0.25~2 mm 粒组为主, 其含量达 50% 左右^[18]。本研究结果与上述结论不完全一致, 其原因主要是利用方式和水分状况不同所致。

表 2 水分状况对紫色水稻土不同发生层各粒级团聚体含量的影响

Table 2 Effect of water regime on size distribution of soil aggregates in paddy soils developed from the purple soils					
土壤类型 Soil type	土壤层 Soil horizon	团聚体百分含量 Content of aggregates(%)			
		> 2 mm	0.25~2 mm	0.053~0.25 mm	< 0.053 mm
潜育型水稻土 Hydromorphic paddy soil	A	43.86	34.33	14.99	6.82
	P	5.24	25.02	54.00	15.74
	W ₁	10.29	32.09	33.15	24.46
渗育型水稻土 Pergenic paddy soil	A	75.92	19.28	2.14	2.66
	P	30.04	49.52	13.89	6.56
淹育型水稻土 Submergenic paddy soil	A	13.10	36.75	32.04	18.11
	W	11.16	47.68	26.50	14.66
潜育型水稻土 Gleyed paddy soil	A	76.65	14.26	6.49	2.59
	Pg	46.57	34.07	11.37	7.99
	G	13.86	49.92	23.69	12.53

同一土壤不同土壤发生层, 供试 4 种紫色水稻土的优势粒级团聚体也不同 (表 2)。潜育型水稻土随着土层深度增加, < 2 mm 的各粒级团聚体的数量

逐渐增大。姚贤良等^[19]研究表明, 在长期的淹水和黏闭条件下, 耕层土壤多呈微团聚体。潜育型水稻土主要位于地形低洼或排水不畅等地下水位较高的环境, 且随深度增加土壤滞水还原作用越强烈, 故随深度增加, 微团聚体的数量也增多。渗育型水稻土与潜育型水稻土变化一致, 特别是 0.25~2 mm 粒级增加最快。淹育型水稻土中除 0.25~2 mm 粒级随深度增加而增加外, 其他粒级均呈下降趋势。潜育型水稻土除 < 0.053 mm 粒级含量随土深度增加而增大外, 其余粒级无明显规律。

2.2 水分状况对紫色水稻土团聚体中有机碳含量的影响

土壤各级团聚体中有机碳的含量是土壤有机质平衡和矿化速率的微观表征, 在土壤肥力中具有重要意义^[19]。表 3 表明: 不同水分状况影响下的不同类型紫色水稻土土壤各级团聚体有机碳含量是不同的, 其大小因土壤类型和土层深度而异。潜育型水稻土 < 2 mm 粒级中土壤有机碳的含量均随土层深度的增加而减小, 在 0.053~2 mm 各级团聚体范围内, 有机碳含量随粒径增大而增加, 这可能是由于受粗有机残体的影响, 导致土壤团聚体有机碳含量的增加。渗育型水稻土和淹育型水稻土各级团聚体中有机碳含量均随土层深度增加而减小。渗育型水稻土在整个设计粒级范围内有机碳含量均随粒径增大而增加, 淹育型水稻土则无明显规律。潜育型水稻土除 0.25~2 mm 粒级外, 其他各级团聚体中有机碳含量也随土层深度增加而减小。

表 3 水分状况对紫色水稻土不同土层各级团聚体有机碳含量的影响

Table 3 Effect of water regime on SOC concentration of soil aggregates in paddy soils developed from the purple soils					
土壤类型 Soil type	土壤层 Soil horizon	各级团聚体中有机碳含量 Organic carbon content of each size aggregates(g kg ⁻¹)			
		> 2 mm	0.25~2 mm	0.053~0.25 mm	< 0.053 mm
潜育型水稻土 Hydromorphic paddy soil	A	17.17	15.24	6.43	9.06
	P	7.31	7.89	3.96	5.39
	W ₁	10.79	7.31	2.58	2.62
渗育型水稻土 Pergenic paddy soil	A	25.00	24.84	21.34	17.87
	P	14.21	13.33	11.03	9.84
淹育型水稻土 Submergenic paddy soil	A	7.51	10.68	8.61	8.03
	W	7.50	7.38	6.24	6.63
潜育型水稻土 Gleyed paddy soil	A	20.12	19.20	11.39	14.23
	Pg	17.47	23.65	8.71	12.63
	G	11.47	10.71	8.20	10.68

各级团聚体中有机碳的赋存量是指各级团聚体中有机碳的含量占团聚体有机碳总量的百分率。根据表 2和表 3中的数据对各级团聚体中有机碳的赋存量进行了计算,结果表明:不同土壤发生层 4种类型水稻土有机碳的赋存量存在较大差异(表 4)。潜育型水稻土 A 层土壤 80% 以上有机碳分布在 > 0.25 mm 团聚体内, P 层有机碳主要分布在 0.053~2 mm 团聚体内,占 77% 左右, W₁ 层有机碳则主要分布于 > 0.25 mm 团聚体内。渗育型水稻土 A 层和 P 层有机碳均主要分布在 > 0.25 mm 团聚体内,分别占 96% 和 83%。淹育型水稻土 A 层和 W 层有机碳主要分布在 0.053~2 mm 团聚体内。潜育型水稻土中的 A 层和 Pg 层有机碳分布在 > 0.25 mm 粒级为主,而 G 层则是 0.053~2 mm 团聚体中有机碳含量最高。从土壤各级团聚体赋存的有机碳百分比来看, 1.9% ~ 16% 有机碳分布在 < 0.053 mm 的微团聚体中,这一结果远较 Schulten 等^[20]报道的低,这可能与土壤类型及气候条件有关。在 0.25~2 mm 粒级团聚体中,各种类型水稻土有机碳含量均

表 4 水分状况对紫色水稻土不同土层
各级团聚体有机碳的赋存量影响

Table 4 Effect of water regime on SOC stock of soil aggregates in paddy soils developed from the purple soils					
土壤类型 Soil type	土壤层 Soil horizon	各级团聚体中有机碳赋存量 Organic carbon stock of aggregates of each size fraction (mg C/50g air-dry soil)			
		> 2 mm	0.25~2 mm	0.053~0.25 mm	< 0.053 mm
潜育型水稻土 Hydromorphic paddy soil	A	376 (52.4%)	262 (36.5%)	48 (7.0%)	31 (4.3%)
	P	19 (7.1%)	99 (37.1%)	107 (40.1%)	42 (15.7%)
	W ₁	56 (22.6%)	117 (47.2%)	43 (17.3%)	32 (12.9%)
渗育型水稻土 Pergenic paddy soil	A	949 (76.8%)	239 (19.4%)	23 (1.9%)	24 (1.9%)
	P	213 (32.7%)	330 (50.6%)	77 (11.8%)	32 (4.9%)
淹育型水稻土 Submergent paddy soil	A	49 (10.7%)	196 (43.0%)	138 (30.3%)	73 (16.0%)
	W	42 (11.6%)	187 (51.8%)	83 (23.0%)	49 (13.6%)
潜育型水稻土 Gleyed paddy soil	A	771 (80.1%)	137 (14.2%)	37 (3.8%)	18 (1.9%)
	P _g	407 (44.7%)	403 (44.3%)	50 (5.5%)	50 (5.5%)
	G	79 (15.5%)	267 (52.4%)	97 (19.0%)	67 (13.1%)

注: 括号内数据表示各级团聚体有机碳占土壤总有机碳的百分比
Note: Numbers in bracket means the percentage of SOC in micro-aggregates of different size fractions to total soil

随土层深度增加其比例逐渐增大。大量研究表明,大团聚体较微团聚体含有更多的 C 和 N^[21, 22]、微生物^[23]、微粒有机质^[22, 25]和不稳定土壤有机质^[22, 24],其特征是易分解且富含微生物和轻组分。耕作通常通过增加通气和打碎土壤团聚体使表层土壤中难以接近的有机碳暴露,导致大团聚体组分内养分消耗,而底层土壤受到的这种影响相对较小,故 0.25~2 mm 粒级大团聚体中有机碳所占比例均随深度增加而增大。

2.3 水分状况对紫色水稻土活性有机碳的影响
从表 5 可以看出,在 4 种类型水稻土中,土壤微生物生物量碳和易氧化碳的含量均随土壤深度增加而减小,这主要是由于这两类活性碳含量很大程度上取决于土壤总有机碳含量^[27],下层土壤受生物影响小,因而总有机碳含量低。土壤水溶性有机碳含量在不同类型水稻土中均以 A 层含量最高。随着剖面的加深,渗育型、淹育型和潜育型水稻土水溶性有机碳含量均平稳下降,但潜育型水稻土水溶性有机碳含量则是先下降,后又稍有上升。水溶性有机碳含量一方面取决于土壤总有机碳含量,另一方面则由于黏粒的吸附作用,在黏粒含量最高的土层常可以提取出较多数量^[26]。

比较不同类型紫色水稻土可以发现,在 A 层土壤中,潜育型水稻土的微生物生物量碳和易氧化碳含量是 4 种土壤中最高的,分别为 282.5 mg kg⁻¹ 和 6.59 g kg⁻¹,这进一步说明了总有机碳含量对土壤微生物生物量碳和易氧化碳量的决定作用。

土壤活性碳占总有机碳的比率较活性有机碳总量更能反映不同类型水稻土土壤碳行为的差异。从表 5 还可以看出,微生物生物量碳占总有机碳比率在不同类型紫色水稻土中差别较大,但各土层间的变化则无规律可循,潜育型水稻土在 W₁ 层仍有较高比率,而潜育型水稻土在 A、Pg、G 三个层次中比率均较低且稳定,这些均反映出生物活性碳的复杂多变。从易氧化碳占总有机碳比率来看,潜育型水稻土和淹育型水稻土明显高于渗育型水稻土和潜育型水稻土,说明前两类型水稻土土壤碳素活性大、易转化。从水溶性有机碳占总有机碳比率来看,以淹育型水稻土最高,其次为潜育型水稻土和渗育型水稻土,而潜育型水稻土相对较低。倪进治等^[28]研究发现,土壤中水溶性有机碳一般占总有机碳含量的比例范围是 0.08% ~ 0.95%,本试验结果与此一致。

表 5 水分状况对紫色水稻土有机碳组分含量的影响
Table 5 Effect of water regime on concentration of organic carbon of
different fractions in paddy soils developed from the purple soils

土壤类型 Soil type	土壤层 Soil horizon	微生物量碳 MBC	易氧化碳 EOC	水溶性有机碳 W SOC	MBC /TOC	EOC/TOC	W SOC /TOC
		(mg kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(%)		
潜育型水稻土 Hydromorphic paddy soil	A	263.2	3.38	28.61	5.26	67.60	0.57
	P	125.0	1.09	16.83	5.14	44.86	0.69
	W ₁	110.8	0.78	20.00	4.94	34.82	0.89
渗育型水稻土 Percogenic paddy soil	A	246.7	6.72	57.22	2.22	60.60	0.52
	P	139.8	3.19	23.56	2.43	55.48	0.41
淹育型水稻土 Submergent paddy soil	A	133.8	2.42	33.66	3.48	63.02	1.22
	W	101.8	1.75	30.29	3.67	63.18	0.79
潜育型水稻土 Gleyed paddy soil	A	282.5	6.59	40.39	1.49	34.83	0.21
	Pg	198.9	5.00	35.23	1.11	27.93	0.20
	G	141.4	3.35	26.93	0.90	21.42	0.17

2.4 土壤微团聚体含量与土壤有机碳的关系

土壤有机碳能促进土壤微团聚体的形成。资料表明,土壤有机质、黏粒及碳酸钙是影响土壤水稳性团聚体含量的主导因子^[1, 29, 30],其中土壤有机碳与团聚体之间存在着密切的相关关系,它是土壤微团聚体的主要胶结剂^[31, 32]。因此,将 > 2 mm、0.25~ 2 mm、0.053~ 0.25 mm 和 < 0.053 mm 团聚体的百分含量分别与其土壤有机碳含量做相关分析,相关方程分别为:

$$y_1 = 4.285x - 26.7, r_1 = 0.954^{***};$$
$$y_2 = -0.919x + 47.179, r_2 = 0.487;$$
$$y_3 = -2.169x + 41.018, r_3 = 0.733^*;$$
$$y_4 = -1.405x + 24.839, r_4 = 0.878^{**}。$$

式中, y_1 、 y_2 、 y_3 、 y_4 分别表示 > 2 mm、0.25~ 2 mm、0.053~ 0.25 mm 和 < 0.053 mm 团聚体百分含量; x 为土壤有机碳含量; r 为相关系数,其中^{*} $p < 0.05$,^{**} $p < 0.01$,^{***} $p < 0.001$ 。

由以上统计分析结果可以看出,随着有机碳含量的增加,> 2 mm 团聚体含量也随之增加,呈极显著正相关;而 < 2 mm 团聚体含量随之减少,其中 < 0.25 mm 微团聚体数量同有机碳含量间呈显著负相关。孙天聪等^[7]研究表明,耕层土壤 5~ 2 mm 团聚体含量与土壤有机碳、全氮以及硝态氮之间呈显著正相关,认为 5~ 2 mm 团聚体是土壤有机碳、全氮和硝态氮的主要载体。本研究结果也证明了这

一点。

3 小 结

紫色水稻土中团聚体以 > 2 mm 团聚体为主,其次分别为 0.25 ~ 2 mm 和 0.053 ~ 0.25 mm。> 2 mm 团聚体含量随土层加深,含量增加;而 < 0.053 mm 团聚体含量随土层加深,含量减少。有机碳主要分布在 > 0.25 mm 团聚体中,随土层增加有机碳含量降低。4 种类型水稻土中,土壤微生物量碳和易氧化碳的含量均随土壤深度增加而减小,水溶性有机碳也是表层高于底层。相关分析表明,有机碳含量与 > 2 mm 团聚体含量呈极显著正相关关系,与 < 0.25 mm 微团聚体数量呈显著负相关关系。因受不同水分状况的影响而形成的不同类型紫色水稻土,土壤团聚体、有机碳、易氧化碳、微生物量碳和水溶性有机碳含量存在较大的差异。

参 考 文 献

[1] 李庆逵. 中国水稻土. 北京: 科学出版社, 1992 Li Q K. Paddy Soil of China (In Chinese). Beijing Science Press 1992
[2] 马毅杰, 陈家坊, 等著. 水稻土物质变化与生态环境. 北京: 科学出版社, 1999 8~ 26 Ma Y J, Chen J F, et al eds Change in Paddy Soil Materials and Its Effect on Eco-Environment (In Chinese). Beijing Science Press 1999 8~ 26
[3] 王春燕, 黄丽, 谭文峰. 几种侵蚀红壤中有机质和团聚体的关

- 系. 水土保持报, 2007, 21(3): 52~56 Wang C Y, Huang L, Tan W F, *et al* Relationship between organic matter and aggregates in several eroded ultisols (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21(3): 52~56
- [4] 彭新华, 张斌, 赵其国. 红壤侵蚀裸地植被恢复及土壤有机碳对团聚体稳定性的影响. 生态学报, 2003, 23(10): 2176~2182 Peng X H, Zhang B, Zhao Q G. Effect of soil organic carbon on aggregate stability after vegetative restoration on severely eroded red soil (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(10): 2176~2182
- [5] 李江涛, 张斌, 彭新华, 等. 施肥对红壤性水稻土颗粒有机物形成及团聚体稳定性的影响. 土壤学报, 2004, 41(6): 912~916 Li J T, Zhang B, Peng X H, *et al* Effects of fertilization on particulate organic matter formation and aggregate stability in paddy soil (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(6): 912~916
- [6] 邱莉萍, 张兴昌, 张晋爱. 黄土高原长期培肥土壤团聚体中养分和酶的分布. 生态学报, 2006, 26(2): 364~371. Qiu L P, Zhang X C, Zhang J A, *et al* Distribution of nutrients and enzymes in Loess Plateau soil aggregates after long-term fertilization (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(2): 364~371
- [7] 孙天聪, 李世清, 邵明安. 长期施肥对褐土有机碳和氮素在团聚体中分布的影响. 中国农业科学, 2005, 38(9): 1841~1848. Sun T C, Li S Q, Shao M A. Effects of long-term fertilization on distribution of organic matters and nitrogen in cinnamon soil aggregates (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(9): 1841~1848
- [8] 李辉信, 袁颖红, 黄欠如, 等. 不同施肥处理对红壤水稻土团聚体有机碳分布的影响. 土壤学报, 2006, 23(3): 422~429. Li H X, Yuan Y H, Huang Q R, *et al* Effects of fertilization on soil organic carbon distribution in various aggregates of red paddy soil (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2006, 23(3): 422~429
- [9] 潘根兴, 李恋卿, 张旭辉. 中国土壤有机碳库量与农业土壤碳固定动态的若干问题. 地球科学进展, 2003, 18(4): 609~618 Pan G X, Li L Q, Zhang X H. Soil organic carbon storage of China and the sequestration dynamics in agricultural lands (In Chinese). Advances in Earth Science, 2003, 18(4): 609~618
- [10] 张旭辉, 李恋卿, 潘根兴. 不同轮作制度对淮北白浆土团聚体及其有机碳的积累与分布的影响. 生态杂志, 2001, 20(2): 16~19 Zhang X H, Li L Q, Pan G X. Effect of different crop rotation systems on the aggregates and their SOC accumulation in Pakudals in North Huai region (In Chinese). Chinese Journal of Ecology, 2001, 20(2): 16~19
- [11] Ponnampennam F N. Electrochemical changes in submerged soil and the growth of rice. In: IRRI Soil and Rice 1978
- [12] Yu T R. Physical Chemistry of Paddy Soils. Beijing Science Press, 1985
- [13] 徐秋芳, 徐建明, 姜培坤. 集约经营毛竹林土壤活性有机碳库研究. 水土保持学报, 2003, 17(4): 15~21 Xu Q F, Xu J M, Jiang P K. Study on organic carbon pool of soil under intensive management bamboo forest (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17(4): 15~21
- [14] 赵兰坡, 杨学明, 路立平, 等. 长期连作玉米的黑钙土、风沙土中有机-无机复合物组成及有机碳分布的特征. 土壤通报, 1996, 27(3): 120~123 Zhao L P, Yang X M, Lu L P, *et al* Composition of organo-mineral complexes and the SOC distribution (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 1996, 27(3): 120~123
- [15] Gregorich E G, Ellert B H, Dilly C F, *et al*. Fertilization effects on soil organic matter turnover and com residue C storage. Soil Sci Soc. Am. J., 1996, 60: 472~476
- [16] 邹焱, 苏以荣, 路鹏, 等. 洞庭湖区不同耕种方式下水稻土壤有机碳、全氮和全磷含量状况. 土壤通报, 2006, 37(4): 671~674. Zou Y, Su Y R, Lu P, *et al* Contents of paddy soil organic carbon, nitrogen and phosphorus under different cultivation ways in Dongting Lake region (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2006, 37(4): 671~674
- [17] 李恋卿, 潘根兴, 张旭辉. 太湖地区几种水稻土的有机碳储存及其分布特性. 科技通报, 2000, 11(6): 421~426 Li L Q, Pan G X, Zhang X H. Organic carbon storage in selected paddy soils in Taihu Lake region and their occurrence (In Chinese). Bulletin of Science and Technology, 2000, 11(6): 421~426
- [18] 李恋卿, 潘根兴, 张旭辉. 退化红壤植被恢复中表层土壤团聚体及其有机碳的变化. 土壤通报, 2000, 31(5): 193~195 Li L Q, Pan G X, Zhang X H. Change of soil particle size fractions and SOC contents after vegetation recovery in a degraded soil (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2000, 31(5): 193~195
- [19] 许绣云, 姚贤良, 刘克樱, 等. 长期施用有机物料对红壤性水稻土的物理性质的影响. 土壤, 1996, 28(2): 57~67. Xu X Y, Yao X L, Liu K Y, *et al* Influence of long-term applying organic manures on physical properties of red paddy soil (In Chinese). Soils, 1996, 28(2): 57~67
- [20] Schulten H R. Influence of long-term fertilization with farmyard manure on soil organic matter Characteristics of particle-size fractions. Biol Fertil Soils, 1991, 12: 81~88
- [21] Elliott E T. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils. Soil Sci Soc. Am. J., 1986, 50: 627~633
- [22] Puget P, Chenu C, Balesdent J. Total young organic matter distributions in aggregate of silty cultivated soils. Eur Soil Sci., 1995, 46: 449~459
- [23] Chantigny M H, Angers D A, Prevost D, *et al*. Soil aggregation and fungal bacterial biomass under annual and perennial cropping system. Soil Sci Soc. Am. J., 1997, 61: 262~267
- [24] Angers D A, Gossiaux M. Recently deposited organic matter in soil water-stable aggregates. Soil Sci Soc. Am. J., 1996, 60: 1547~1551
- [25] Cambardella C A, Elliott E T. Particulate soil organic matter across a grassland cultivation sequence. Soil Sci Soc. Am. J., 1992, 56: 776~783
- [26] Kuipers A T, Muller W. Water-soluble organic matter in forest soils. I. Complexing properties and implications for soil equilibrium. Plant and Soil, 1993, 152: 215~224

- [27] Andersom T H, Doeasch K H. Rations of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biol Biochem.*, 1989, 21: 471~ 479
- [28] 倪进治, 徐建民, 谢正苗. 土壤生物活性有机碳库及其表征指标的研究. *植物营养与肥料学报*, 2001, 7(1): 374~ 378 Ni J Z, Xu J M, Xie Z M. The size and characterization of biologically active organic carbon pool in soils (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science* 2001, 7(1): 374~ 378
- [29] 杨彭年. 石灰性土壤有机矿质复合体及其团聚性的研究. *土壤学报*, 1984, 21(2): 144~ 152 Yang P N. Studies on properties of organo-mineral complex and aggregate in calcareous soils (In Chinese). *Acta Peddogica Sinica* 1984, 21(2): 144~ 152
- [30] 姚贤良, 于德芬. 关于集约农作制下的土壤结构问题 I. 有机物料及其利用方式对土壤结构的影响. *土壤学报*, 1985, 22(3): 241~ 250 Yao X L, Yu D F. On the soil structure under intensive farming system I. Effect of organic matter and methods of their application structure on soil (In Chinese). *Acta Peddogica Sinica* 1985, 22(3): 241~ 250
- [31] 刘京, 常庆瑞, 李岗, 等. 连续不同施肥对土壤团聚体影响的研究. *水土保持通报*, 2000, 8(4): 24~ 26 Liu J, Chang Q R, Li G, *et al* Effect of different fertilization on soil characteristics of aggregate (In Chinese). *Bulletin of Soil and Water Conservation* 2000, 8(4): 24~ 26
- [32] 王小彬, 蔡典雄, 张镜清, 等. 旱地玉米秸秆还田对土壤肥力的影响. *中国农业科学*, 2000, 33(4): 54~ 61 Wang X B, Cai D X, Zhang J Q, *et al* Effects of com stover incorporated in dry farmland on soil fertility (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica* 2000, 33(4): 54~ 61
- [33] 鲁如坤主编. *土壤农业化学分析方法*. 北京: 中国农业科技出版社, 2000 Lu R K. ed *Analytical Methods of Soil and Agro-Chemistry* (In Chinese). Beijing China Agricultural Science and Technology Press 2000
- [34] Blair G J, Lefebvre R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Aust J Agric Res.*, 1995, 46: 1459~ 1466
- [35] Liang B C, Mackenzie A F, Schnitzer M, *et al* Management-induced change in labile soil organic matter under continuous corn in eastern Canadian soils. *Biology and Fertility of Soils* 1998, 26: 88~ 94

INFLUENCE OF SOIL WATER REGIME ON SIZE DISTRIBUTION OF AGGREGATES AND CONCENTRATION OF ORGANIC CARBON THEREIN IN PADDY SOILS DEVELOPED FROM PURPLE SOILS

Gao Ming¹ Zhang Wei² Wang Zifang¹ Wei Chaofu¹ Zheng Jiebing³

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Southwest University, Chongqing 400716, China)

(2 Kunming Division, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China)

(3 Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources, Chongqing 400042, China)

Abstract Aggregation and soil organic carbon (SOC) concentration represent integrated effects of soil type, environment, plant species and soil management practices. This study was conducted to assess effect of water regime on size distribution of soil aggregates and C concentrations therein in paddy soils developed under different water conditions from purple soils in a purple hilly area of the Sichuan basin. The labile organic carbon, microorganism biomass carbon, water dissolved carbon and organic carbon concentration in aggregates of different sizes gained by the wetting sieve method were determined. The content of aggregates > 2 mm in diameter was the highest in the cultivated horizon of gleyed paddy soils and percologenic paddy soils, being 76.65% and 75.92%, respectively, and only 13.10% in the cultivated horizon of submergic paddy soil. There was no significant difference in size distribution of soil aggregates between soil genetic horizons, either. Except in the P horizon of hydromorphic paddy soil, major portion (53.7% ~ 96.2%) of soil organic carbon was distributed in the aggregates > 0.25 mm in diameter in the soils. The concentration of microorganism biomass carbon and labile carbon in hydromorphic paddy soils was the highest among the soils, being 282.5 mg kg⁻¹ and 6.59 g kg⁻¹, respectively. The concentration of water dissolved carbon was the highest in percologenic paddy soils. A significantly positive correlation was also observed between the content of aggregates > 2 mm in diameter and the concentration of organic carbon, and a significant negative one between the content of aggregates < 0.25 mm in diameter and the concentration of organic carbon.

Key words Water regime; Purple paddy soil; Aggregates; Organic carbon