

名山河流域不同土壤类型和土地利用方式下有机碳的分布特征

李欣雨¹, 夏建国², 鄢广奎³, 宋承远², 李琳佳²

(1. 四川农业大学环境学院, 成都 611130; 2. 四川农业大学资源学院, 成都 611130; 3. 雅安市环境保护局, 四川 雅安 625000)

摘要: 以名山河流域不同类型土壤为研究对象, 研究了不同土地利用方式下土壤有机碳和团聚体中有机碳含量的分布特征。结果表明: (1) 名山河流域 3 种类型的土壤有机碳含量在 17.50~34.70 g/kg 之间, 含量高低表现为水稻土>黄壤>紫色土, 水稻土含量分别是黄壤和紫色土的 1.32, 1.39 倍; 从不同的土地利用方式看, 水田土壤有机碳及活性有机碳含量显著高于旱地、茶园和果园, 土壤活性有机碳与土壤有机碳呈极显著正相关 ($R^2=0.8846$); (2) 土壤有机碳含量在土壤剖面中表现出随着土层深度的增加而降低的趋势, 表层土壤 (0—20 cm) 有机碳含量由高到低依次为水稻土>黄壤>紫色土, 下层土壤 (20—40 cm) 有机碳含量为水稻土>紫色土>黄壤, 土壤活性有机碳含量的分布具有相似规律; (3) 在不同土地利用方式下, 表层土壤 (0—20 cm) 有机碳含量大小关系表现为水田>旱地>果园>茶园, 下层土壤 (20—40 cm) 有机碳含量表现为水田>果园>茶园>旱地, 水田表层、下层土壤活性有机碳含量均极显著地高于旱地、果园、茶园, 再次证明活性有机碳是表征有机碳特性的重要指标; (4) 3 种类型土壤的团聚体在不同的利用方式下的有机碳含量表现出随着土壤剖面加深而降低的趋势, 土壤团聚体的单位有机碳含量随着粒径的减小呈现波浪形的变化趋势, 各粒径团聚体中的有机碳含量与土壤有机碳含量呈正相关关系。综上可知, 土壤类型的差异和土地利用方式的不同会对土壤有机碳及各粒径团聚体中有机碳的含量及分布特征产生一定的影响。

关键词: 土壤有机碳; 土壤团聚体; 土壤类型; 土地利用方式; 名山河流域

中图分类号: S153.6

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)03-0224-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2017.03.038

Distribution of Organic Carbon under Different Soil Types and Utilization Patterns in Mingshan River Watershed

LI Xinyu¹, XIA Jianguo², YAN Guangkui³, SONG Chengyuan², LI Linjia²

(1. College of Environmental Sciences, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130; 2. College of resources, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130; 3. Ya'an Municipal Environmental Protection Bureau, Ya'an, Sichuan 625000)

Abstract: The distribution of soil organic carbon was studied under different soil types and land use patterns, samples were collected in Mingshan River watershed and analysed in the laboratory. The results showed as follows: (1) Organic carbon content of the three types of soil was 17.50—34.70 g/kg, and followed the order of paddy soil > yellow soil > purple soil; From the way of land use, the content of paddy soil organic carbon and active organic carbon were significantly higher than those of the dry land, tea gardens and orchards, soil active organic carbon and soil organic carbon were significantly positively correlated ($R^2=0.8846$). (2) The content of organic carbon of soil decreased gradually with the increase of soil depth. Soil organic carbon content showed the order of paddy soil > yellow soil > purple soil at the depth of 0—20 cm, and paddy soil > purple soil > yellow soil at the depth of 20—40 cm, and active organic carbon showed a similar pattern. (3) Under different land use patterns, organic carbon content in the surface soil followed the order of paddy field > dry land > tea garden, and that in the subsoils (20—40 cm) was in the order of paddy field > tea garden > dry land. Active organic carbon contents in both in the upper and the lower layers of the paddy field were significantly higher than those of the dry land, orchard and tea garden. It is proved again that active organic carbon is one of the important indicators of organic carbon. (4) Organic carbon content of soil aggregates decreased with the increase of soil depth, at the same time, the organic carbon content of soil aggregates showed a wavy changing trend with the decreasing particle size. Organic carbon content of soil aggregates was positively

收稿日期: 2016-11-23

资助项目: 四川省学术和技术带头人培养基金项目(2014); 四川农业大学学科建设双支计划项目(2016)

第一作者: 李欣雨(1993—), 女, 四川广安人, 硕士研究生, 主要从事土壤生态学研究。E-mail: 619361016@qq.com

通信作者: 夏建国(1967—), 男, 重庆南川人, 博士, 主要从事土地利用与环境演变研究。E-mail: xiajianguo@126.com

correlated with total soil organic carbon content. In conclusion, organic carbon contents in the soil and soil aggregates of different particle sizes were influenced by soil types and different utilization pattern, the distribution characteristics of organic carbon in the soil and soil aggregates were different.

Keywords: soil organic carbon; soil aggregate; soil type; land use pattern; Mingshan River watershed

土壤有机碳作为土壤肥力的重要组成部分,不仅是表征土壤质量演变的重要指标^[1],而且能作为植被生长的碳源,对土壤结构的形成、土壤持水性、缓冲性、生物多样性及稳定性等产生重大影响。土壤有机碳是陆地生态系统碳氮循环的重要组成部分^[2],其分布受气候、植被、地形等环境因素影响^[3],同时也受土壤自身的基本理化性质^[4]、耕作方式以及土地利用方式^[5]等因素的影响。团聚体是土壤结构的重要组成部分,长久以来被作为土壤结构稳定的替代指标^[6]。土壤团聚体中有机碳的分配是土壤中的重要地球化学性质之一^[7],不同粒级的团聚体中有机碳储存及其矿化存在差异,因此,不同粒径土壤颗粒中有机碳对土壤干扰的敏感程度也明显不同^[8]。近年来,关于有机碳在团聚体中的分布备受关注。名山河流域位于四川盆地西部边缘,是青藏高原向成都平原的过渡地带,其土壤类型、土地利用方式多样,导致土壤有机碳的积累分布情况有所差异。而近年来针对土壤有机碳的研究较多^[9-11],专门针对名山河流域土壤有机碳和团聚体中有机碳分布的研究较少。因此,选择对名山河流域不同类型、不同利用方式下的土壤有机碳分布进行研究,以期为协调区域土地利用和农业可持续发展提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

名山河流域位于四川盆地西部边缘,是青藏高原向成都平原的过渡地带,面积约 13 km²,为低山台地地貌,海拔为 600~900 m。气候类型为亚热带季风性湿润气候,冬无严寒,夏无酷热,四季分明,无霜期长。有黄壤、紫色土、水稻土等几种土壤类型,土地利用方式主要有旱地、水田、茶园、果园、林地等。

1.2 样品采集

于 2014 年 10—12 月采集名山河流域黄壤、紫色土、水稻土 3 种土壤,采样点设置共计 84 个,采集土样 168 个。其中黄壤设置土壤采样点共 24 个,不同土地利用方式下样点设置为茶园 12 个、果园 6 个以及旱地 6 个,紫色土采样点设置与黄壤一致。水稻土中设置采样点共 36 个,其中由紫色土发育而成的茶园土壤采样点 12 个、水田土壤 6 个以及黄壤发育而成的茶园土壤 12 个、水田土壤 6 个,每个样点再分层采取 0—20, 20—40 cm 土层土样。取样点沿着名山河按“S”形路线布设,每 5 点混合为一样点,四分法取

土,将采集的新鲜土样装入无菌塑料袋内,在室内自然风干,供土样基本理化性质的测定和团聚体制备,设置 3 个重复。

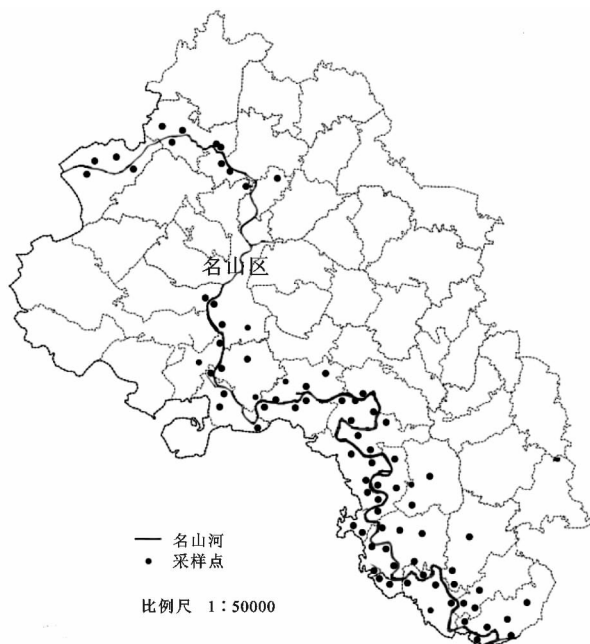


图1 土壤采样点的空间分布

1.3 样品测定

土壤基本理化性质的测定参考鲍士旦^[12]的《土壤农化分析》中的方法,其中土壤 pH 值测定选用 1:2.5 土水比 Mettler—Toledo 电位计测定;全氮的测定选用半微量凯氏法测定;速效氮的测定选用碱解扩散法测定;全磷的测定选用 NaOH 熔融—钼锑抗比色分析法测定;速效磷的测定选用钼锑抗比色分析法测定;全钾的测定选用 NaOH 熔融—火焰光度法测定;速效钾的测定选用醋酸铵浸提—火焰光度法测定;土壤有机碳采用重铬酸钾氧化—外加加热法测定;土壤活性有机碳采用高锰酸钾氧化法测定。土壤团聚体的测定采用沙维诺夫湿筛法^[13]。由表 1 可知,在不同类型土壤中,土壤 pH 总体随土壤深度增加而增加。其中旱地紫色土 pH 最高,达到 8.20,茶园黄壤 pH 最低,为 3.78。土壤养分含量中全氮、速效氮、全磷和有效钾含量总体随土壤深度增加而减小,而速效磷和全钾含量规律不明显。不同土壤 pH 和养分含量存在差异,这主要是由于成土母质和利用方式不同所导致的。

1.4 数据统计分析

用 Excel 软件对原始数据进行分析处理,用 SPSS 20.0 等软件进行相关分析。

表 1 供试土壤基本理化性质

土壤类型	利用类型	土层深度/cm	pH	含水量/%	全氮/(g·kg ⁻¹)	速效氮/(mg·kg ⁻¹)	全磷/(g·kg ⁻¹)	速效磷/(mg·kg ⁻¹)	全钾/(g·kg ⁻¹)	有效钾/(mg·kg ⁻¹)
黄壤	茶园	0—20	3.78	0.032	1.41	154.82	0.70	25.21	16.41	51.62
		20—40	4.02	0.030	1.04	82.57	0.31	3.63	16.53	27.89
	果园	0—20	7.15	0.042	1.16	76.67	0.49	6.99	22.67	103.15
		20—40	7.25	0.038	0.74	60.45	0.44	8.78	21.59	94.34
	旱地	0—20	3.92	0.034	1.17	91.42	0.79	30.80	16.85	29.31
		20—40	3.96	0.034	0.89	84.05	0.46	12.73	16.56	25.93
紫色土	茶园	0—20	4.30	0.020	1.07	94.37	0.25	4.65	20.28	25.30
		20—0	4.31	0.020	0.79	53.08	0.25	4.17	20.88	22.73
	果园	0—20	5.32	0.056	1.87	168.83	0.42	2.65	31.12	67.60
		20—40	5.63	0.054	1.61	113.53	0.46	4.31	31.44	59.48
	旱地	0—20	8.12	0.054	1.57	120.91	0.73	4.41	33.35	78.37
		20—40	8.20	0.046	1.11	58.98	0.54	2.22	35.02	69.80
水稻土	黄壤茶园	0—20	3.88	0.032	1.36	135.65	0.75	28.79	20.98	25.35
		20—40	4.11	0.030	1.44	86.99	0.83	19.51	20.73	14.92
	黄壤水田	0—20	4.62	0.054	1.91	170.30	0.62	6.80	24.73	84.76
		20—40	4.54	0.060	2.18	138.60	0.59	7.85	23.56	36.02
	紫色土茶园	0—20	4.74	0.026	1.35	187.26	0.42	7.62	24.13	80.77
		20—40	5.22	0.028	1.04	168.83	0.31	3.98	24.52	39.75
	紫色土水田	0—20	8.01	0.074	2.33	110.59	0.66	3.95	33.99	55.05
		20—40	8.02	0.056	2.15	90.68	0.61	1.79	34.43	52.67

2 结果与分析

2.1 不同类型土壤的有机碳含量及分布

2.1.1 不同土壤类型中的有机碳及活性有机碳在土层中的分布特征 由图 2 可知,在不同土层中,土壤有机碳及活性有机碳含量均随土层深度的增加而降低,这是由于残枝落叶分解后输入土壤的有机碳都聚集在土壤表层,造成土壤有机碳的表聚性比较明显^[14]。在 0—40 cm 土层深度下,表层土壤(0—20 cm)有机碳含量为 24.00~35.00 g/kg,其中水稻土有机碳含量最高,为 34.70 g/kg,而紫色土最低,为 24.89 g/kg。下层土壤(20—40 cm)有机碳含量为 17.50~30.58 g/kg,水稻土有机碳含量最高,紫色土最低。土壤表土层易受外界环境干扰,肥力、水分等人为因素直接作用于表土,使其有机碳储量增加,固

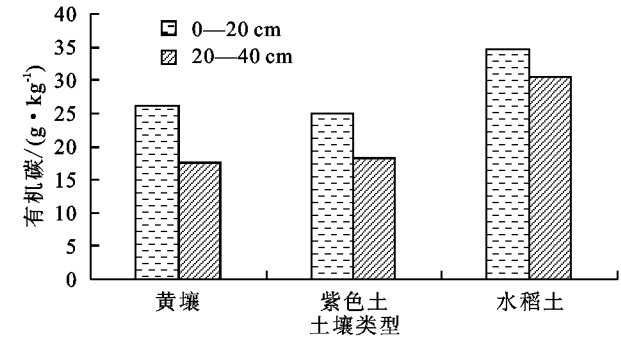
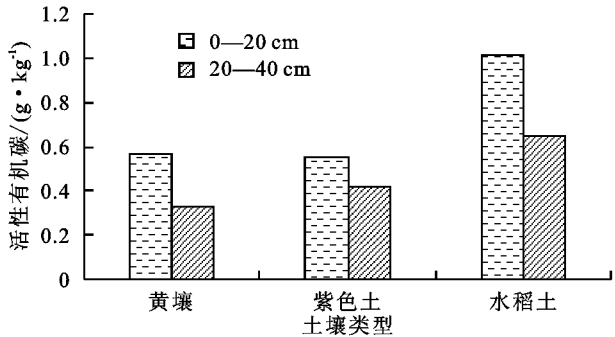


图 2 不同土壤类型剖面中土壤有机碳及活性有机碳分布

2.1.2 土壤类型对有机碳含量的影响 名山河流域黄壤、紫色土、水稻土 3 种类型的土壤有机碳(SOC)含量具有一定的差异,以表层土壤为例,水稻土有机碳含量为 34.70 g/kg,分别高出黄壤和紫色土

碳能力加强^[15],因此土壤有机碳在表层土壤中的含量明显高于下层土壤。土壤活性有机碳占土壤有机碳总量较小,但对土壤碳库平衡、土壤化学和生物化学肥力保持具有重要意义^[16-17]。3 种土壤类型中,表层(0—20 cm)水稻土中的土壤活性有机碳含量显著高于黄壤和紫色土,其含量大小关系表现为水稻土>黄壤>紫色土,含量分别为 1.01,0.57,0.55 g/kg。而下层土壤中紫色土的活性有机碳含量略高于黄壤,水稻土活性有机碳含量依旧大于前 2 种土壤。名山河流域 3 种类型土壤的有机碳与土壤活性有机碳含量呈显著相关性,相关系数 $R^2=0.8846$ 。由此可知,土壤活性有机碳在某种程度上可以反映土壤有机碳的含量。大量研究指出,活性有机碳含量与土壤有机碳含量呈正相关^[18-19],与本研究结果一致。



24.50%,28.27%,水稻土中有机碳含量最高,紫色土含量最低,黄壤和紫色土之间含量差异不显著,这可能与成土母质不同有关,邓万刚等^[20]研究指出,土地利用方式及母质对土壤有机碳的含量有着较大影响。

此外,水稻土是指发育于各种自然土壤之上、经过人为水耕熟化、淹水种稻而形成的耕作土壤。在淹水环境下,土壤长期处于还原条件中,低价的铁、锰大量增加,与有机质产生络合。周萍等^[21]研究指出,水稻土中氧化铁对有机碳的保护与稳定起着重要作用,使得水稻土中有机碳得以积累,有机碳含量较高。而紫色土是在频繁的风化作用和侵蚀作用下形成的,其过程特点是:物理风化强烈、化学风化微弱、石灰开始淋溶。名山河流域位于亚热带季风性湿润气候,常年多雨降水丰富,有机碳受水土流失的影响大,不易在土壤中积累,导致含量较低,与邓良基等^[22]针对川中丘陵区紫色土表层土壤中有有机碳的研究结果一致。因此,在名山河流域3种类型土壤中,水稻土有机碳含量显著高于其他2种土壤。

2.2 不同土地利用方式下土壤有机碳含量及分布

2.2.1 不同利用方式下有机碳和活性有机碳在土层中的分布特征 由图3可知,在不同土地利用方式下,土壤有机碳含量随土层深度的增加而降低,活性有机碳含量分布具有相似规律。以表层土壤(0—20 cm)为例,水田表层土壤有机碳含量为45.12 g/kg,

旱地、果园、茶园表层土壤有机碳含量分别为27.50, 26.45, 23.24 g/kg,水田表层土壤有机碳含量分别高于旱地、果园、茶园的64.07%, 70.59%, 94.15%。这是因为在淹水条件下水田土壤中氧气含量较少,还原条件下有利于有机碳积累。4种土地利用方式下,水田表层土壤活性有机碳含量最高,为1.64 g/kg,茶园依旧最低,为0.48 g/kg,旱地和果园活性有机碳含量差异不大,分别为0.70, 0.68 g/kg。而在下层土壤(20—40 cm)中,水田有机碳及活性有机碳含量分别为40.05, 1.00 g/kg,旱地、果园、茶园土壤有机碳含量分别为15.12, 22.05, 18.05 g/kg,活性有机碳含量分别为0.32, 0.38, 0.35 g/kg。与上层土壤有机碳分布不同,下层土壤中,果园、茶园的土壤有机碳及活性有机碳含量高于旱地,这可能是因为在采样季节(12月),果园、茶园中大量枯枝落叶产生,彭琳等^[23]研究指出,对凋落物的保护有利于土壤有机碳的积累,果园、茶园表层枯枝落叶所形成的有机碳已经在20—40 cm土层沉淀,同时果园、茶园植被根系对土壤底层有机碳含量影响较大,因此旱地土壤有机碳含量在20—40 cm土层表现为最低。

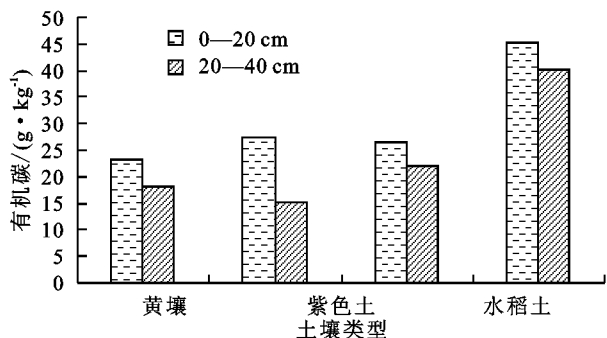
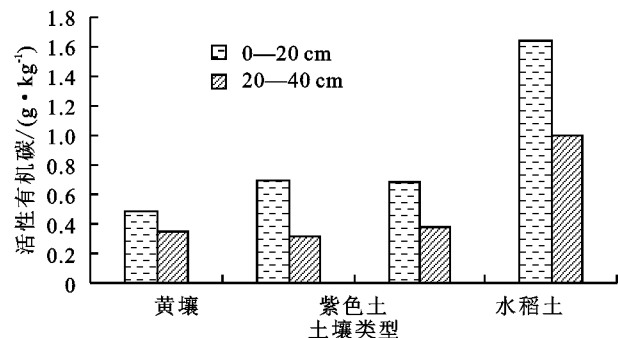


图3 不同土地利用方式土层中有机碳及活性有机碳分布



2.2.2 不同土地利用方式对土壤有机碳及活性有机碳含量的影响 不同的土地利用方式,一方面对土壤有机碳的含量、分布及组分有直接影响,另一方面对土壤有机碳形成和转化的相关因子也会产生影响。已有研究表明,不同土地利用方式和管理措施影响着土壤环境变化的方向和幅度^[24]。土壤有机碳含量在不同的土地利用方式下存在差异,除了受其自身环境差异影响外,还受到外界输入土壤中的有机物质的数量和性质的影响。邬建红等^[25]研究指出,土地利用方式的改变将会导致土壤有机碳矿化速率的变化,从而影响土壤有机质含量。名山河流域4种土地利用方式下表层土壤有机碳和活性有机碳含量大小顺序为水田>旱地>果园>茶园,水田、旱地有机碳及活性有机碳含量高于果园和茶园,是因为水田和旱地作为耕作土壤,其复种指数高,根茬残留量大,且水稻残余物比其他残余物更容易腐殖化,进而转变为土壤有机质^[26],因此有机物输入量较林地和果园高^[27]。同

时,水田长期处于淹水环境下,土壤中的铁、锰离子易与有机质产生络合,进而增加土壤中有有机碳的积累。旱地植被对土壤有机碳积累和土壤肥力的促进作用也大于果园和茶园^[28],因此在表层土壤中两者的有机碳含量较高。陈高起等^[29]针对岩溶区不同土地利用方式下土壤有机碳的研究表明,表层土壤园地有机碳总量低于菜地土壤,但下层土壤中园地土壤有机碳含量大于了菜地,与本研究结果相似。

2.3 土壤有机碳在各粒径土壤团聚体中的分布

2.3.1 各粒径团聚体在不同类型土壤中的分布特征

土壤团聚体是由土粒胶结成粒状和小团块状、大体成球状的土团,它是土壤结构的基本单元,不仅影响土壤的孔隙度、持水性、通透性等物理性质,也影响土壤碳、氮循环以及养分积蓄与释放等化学性质^[30]。由表2可知,水田中>5 mm粒径的团聚体占总团聚体的比例最大,为75.44%~81.58%,而2~5 mm, 1~2 mm, 0.5~1 mm, 0.25~0.5 mm, <0.25 mm 占总团聚体的比

例差异较小。由此可知,>5 mm 粒径团聚体在水田土壤团聚体结构中占了主导地位。旱地土壤团聚体主要分布在>5 mm,0.5~1 mm,<0.25 mm 这 3 种粒径,其含量总和占总团聚体的 70%以上。茶园土壤团聚体分布相对平均,黄壤茶园中,>5 mm 和<0.25 mm 粒

径的团聚体占据主要地位,而紫色土和水稻土中,0.5~1 mm,0.25~0.5 mm 和<0.25 mm 粒径的含量较大。果园各粒径团聚体在紫色土中的分布以>5 mm 粒径团聚体为主,在黄壤中,>5 mm 和<0.25 mm 粒径的团聚体则占据了主要地位。

表 2 不同粒径土壤团聚体分布特征

土壤类型	利用类型	土层深度/cm	各团聚体百分含量/%					
			>5 mm	2~5 mm	1~2 mm	0.5~1 mm	0.25~0.5 mm	<0.25 mm
黄壤	茶园	0—20	24.76	5.55	8.93	19.27	15.65	25.83
	茶园	20—40	21.66	7.49	6.39	19.96	11.31	33.19
	果园	0—20	19.27	5.24	10.06	20.32	11.76	33.35
	果园	20—40	48.07	2.79	3.95	7.87	12.64	24.68
	旱地	0—20	25.01	3.02	4.93	13.60	19.83	33.60
	旱地	20—40	7.65	2.02	5.52	23.24	16.8	44.77
	茶园	0—20	8.90	4.51	5.73	24.14	21.27	35.45
	茶园	20—40	2.95	2.33	6.57	36.26	15.29	36.60
紫色土	果园	0—20	71.50	5.53	7.92	7.35	2.99	4.70
	果园	20—40	68.39	5.73	5.52	8.84	4.55	6.98
	旱地	0—20	38.01	7.10	11.25	20.55	10.38	12.71
	旱地	20—40	48.28	3.54	7.48	13.69	8.72	18.28
	黄壤茶园	0—20	5.23	2.93	10.01	32.68	23.12	26.03
	黄壤茶园	20—40	10.82	5.45	12.68	35.42	9.46	26.16
	黄壤水田	0—20	76.11	3.35	3.26	6.78	3.65	6.86
	黄壤水田	20—40	75.44	5.03	3.43	5.20	3.13	7.78
水稻土	紫色土茶园	0—20	26.76	3.35	4.68	13.78	18.99	32.44
	紫色土茶园	20—40	16.50	3.22	4.25	17.07	15.72	43.25
	紫色土水田	0—20	81.58	3.87	3.22	4.00	1.43	5.92
	紫色土水田	20—40	76.38	4.36	4.92	6.44	4.22	3.69

2.3.2 有机碳在不同类型土壤团聚体中的分布特征 由表3 可知,茶园、果园和旱地土壤各粒径团聚体中表层土壤(0—20 cm)有机碳含量大部分是高于下层(20—40 cm)土壤的,在不同利用方式下,黄壤各粒径团聚体中有机碳含量随着土层的加深而降低,与前人研究结果一致^[31]。这是因为土壤剖面上有机碳含量主要受地上植物枯枝落叶、植物根系分布的影响,随深度增加,地表植物根系生物量在土壤中的含量降低^[32]。在表层土壤(0—20 cm)中,各团聚体有机碳含量最高出现在旱地土壤的 2~5 mm 粒径中,为 48.50 g/kg,最低出现在果园的 0.25~0.5 mm 粒径,含量为 15.05 g/kg。在下层土壤(20—40 cm)中,有机碳含量最高出现在果园的 2~5 mm 粒径中,含量为 27.42 g/kg,最低出现在果园的 0.25~0.5 mm 粒径,含量为 7.55 g/kg。

有机碳在团聚体中的分布存在差异,为探讨有机碳在各粒径团聚体中分布的具体情况,将表 2 中各团聚体在土壤中的百分比乘以各团聚体的含碳量,计算出单位重量土壤中分布于各团聚体中的有机碳量的比例(表 3)。黄壤不同利用方式下单位土壤有机碳含量在各团聚体中的分布呈先降低后增加再降低再增加的波浪形变化趋势,随团聚体粒径的减小,>5 mm 和 2~5 mm 粒径单位土壤有机碳含量降低,2~5 mm,1~2 mm,0.5~1 mm 粒径含量增加,0.5~1 mm 和 0.25~0.5 mm 粒径含量再次降低,0.25~0.5 mm 和<0.25 mm 粒径含量增加。单位土壤有机碳大部分集中在<0.25 mm 粒径,这可能是因为有机无机胶体紧密结合作用使得小团聚体固持碳的作用加强,不易被微生物分解释放^[33]。

表 3 黄壤中有机碳在各粒径团聚体中的分布

利用类型	土层深度/cm	有机碳含量/(g·kg ⁻¹)	各团聚体有机碳含量/(g·kg ⁻¹)						单位土壤团聚体中有机碳含量/(g·kg ⁻¹)					
			>5 mm	2~5 mm	1~2 mm	0.5~1 mm	0.25~0.5 mm	<0.25 mm	>5 mm	2~5 mm	1~2 mm	0.5~1 mm	0.25~0.5 mm	<0.25 mm
茶园	0—20	28.29	31.18	27.72	35.57	32.45	33.39	16.96	7.72	1.54	3.18	6.25	5.22	4.38
茶园	20—40	18.15	15.14	18.05	17.87	17.21	16.52	21.32	3.28	1.35	1.14	3.44	1.87	7.08
果园	0—20	21.40	20.35	28.02	21.93	23.55	15.05	22.91	3.92	1.10	2.19	4.79	1.77	7.64
果园	20—40	16.71	11.27	27.42	21.84	16.80	7.55	21.95	5.42	0.76	0.86	1.32	0.95	7.39
旱地	0—20	27.91	24.12	48.50	37.57	24.25	18.73	34.36	6.03	1.47	1.85	3.39	3.72	11.55
旱地	20—40	16.61	17.78	19.37	20.32	14.58	14.66	17.61	1.36	0.39	1.12	3.30	2.46	7.88

从表 4 可以看出,不同土地利用方式下,紫色土土壤团聚体的有机碳含量大致表现为表层土壤(0—20

cm)大于下层土壤(20—40 cm),表明不同利用方式下各粒径团聚体在紫色土中的有机碳含量随着土壤剖面深度的增加而降低。其中,茶园和旱地土壤的<0.25 mm 粒径与之相反,这可能是受该粒径土壤在土层中的含量影响,茶园土壤<0.25 mm 粒径在 0—20,20—40 cm 土层中含量分别为 35.45%,36.60%,直接影响了茶园土壤有机碳在土层中的分布,所以茶园土壤的

有机碳含量表现为表层低于下层土壤。而旱地土壤<0.25 mm 粒径在 0—20,20—40 cm 土层中含量分别为 12.71%,18.28%,明显小于>5 mm 粒径的含量,所以旱地土壤有机碳在剖面中的分布主要是由>5 mm 团聚体决定的,表现出表层土壤有机碳含量大于下层土壤。此外,在不同利用方式下,紫色土中的单位土壤有机碳含量在各团聚体中的分布与黄壤类似。

表 4 紫色土有机碳在团聚体中的分布

利用 类型	土层 深度/cm	有机碳含量/ (g·kg ⁻¹)	各团聚体有机碳含量/(g·kg ⁻¹)						单位团聚体中有机碳含量/(g·kg ⁻¹)					
			>5 mm	2~5 mm	1~2 mm	0.5~1 mm	0.25~0.5 mm	<0.25 mm	>5 mm	2~5 mm	1~2 mm	0.5~1 mm	0.25~0.5 mm	<0.25 mm
茶园	0—20	13.71	14.65	18.23	19.77	15.35	13.62	10.87	1.30	0.82	1.13	3.71	2.90	3.85
茶园	20—40	16.10	13.31	17.81	14.63	14.03	11.71	20.37	0.39	0.42	0.96	5.09	1.79	7.45
果园	0—20	31.50	31.23	31.35	31.84	32.46	34.73	31.56	22.33	1.73	2.52	2.39	1.04	1.48
果园	20—40	25.66	25.52	27.41	28.76	26.58	29.10	19.71	17.45	1.57	1.59	2.35	1.32	1.37
旱地	0—20	27.08	27.82	25.84	28.96	29.74	29.01	18.02	10.57	1.84	3.26	6.11	3.01	2.29
旱地	20—40	13.44	11.16	10.31	9.58	10.18	9.59	25.89	5.39	0.37	0.72	1.39	0.84	4.73

从表 5 可以看出,由紫色土母质发育而来的水稻土各粒径团聚体中,有机碳含量表现为表层土壤(0—20 cm)大于下层土壤(20—40 cm),而由黄壤母质发育而来的水稻土上下层则没有明显的规律。水稻土各粒径团聚体有机碳含量在 13.31~56.51 g/kg 之间,其中 20—40 cm 土层中的黄壤水田>5 mm 粒径有机碳含量最高,达到 56.51 g/kg,而紫色土茶园 0.25~0.5 mm 粒径有机碳含量最低,为 13.31 g/kg,黄壤水田>5 mm 粒径有机碳含量高出其 3.25 倍。从不同利用方式来看,各粒径团聚体有机碳含量

的最大值均出现在水田中,与前面的研究结果一致。紫色土发育的水稻土在茶园、水田 2 种利用方式下,各粒径单位土壤团聚体中有机碳含量随着土壤剖面的加深呈现降低趋势,而黄壤发育的水稻土各个粒径团聚体有机碳含量增减则无此规律,该区气候、坡度等环境条件类似,因此导致该结果产生的原因可能是成土母质。邓万刚等^[20]在研究中指出,土壤成土母质对土壤有机碳含量有一定的影响,不同成土母质发育的土壤,其土壤团聚体稳定性不同,对有机碳含量有着重要影响。

表 5 水稻土有机碳在团聚体中的分布

利用 类型	土层 深度/cm	有机碳含量/ (g·kg ⁻¹)	各团聚体有机碳含量/(g·kg ⁻¹)						单位土壤团聚体中有机碳含量/(g·kg ⁻¹)					
			>5 mm	2~5 mm	1~2 mm	0.5~1 mm	0.25~0.5 mm	<0.25 mm	>5 mm	2~5 mm	1~2 mm	0.5~1 mm	0.25~0.5 mm	<0.25 mm
黄壤茶园	0—20	25.83	33.33	37.71	33.70	24.57	23.14	23.95	1.74	1.10	3.38	8.03	5.35	6.23
黄壤茶园	20—40	24.16	24.05	27.16	34.82	27.11	25.26	14.04	2.60	1.48	4.42	9.60	2.39	3.67
黄壤水田	0—20	45.19	46.31	53.37	49.09	48.70	50.75	20.56	35.24	1.79	1.60	3.30	1.85	1.41
黄壤水田	20—40	52.82	56.51	51.32	51.98	50.28	48.82	21.68	42.63	2.58	1.78	2.61	1.53	1.69
紫色土茶园	0—20	22.74	22.02	29.20	25.84	20.18	16.84	26.75	5.89	0.98	1.21	2.78	3.20	8.68
紫色土茶园	20—40	15.78	13.84	20.90	22.62	13.81	13.31	17.13	2.28	0.67	0.96	2.36	2.09	7.41
紫色土水田	0—20	37.42	37.23	42.06	40.07	43.40	39.89	30.91	30.37	1.63	1.29	1.73	0.57	1.83
紫色土水田	20—40	34.01	34.95	35.10	36.73	27.74	33.90	20.63	26.69	1.53	1.81	1.79	1.43	0.76

土壤有机碳促进了土壤团聚体的形成并提高了其稳定性^[34],而土壤团聚体对土壤有机碳具有物理保护作用^[35]。从表 6 中可以看出,土壤有机碳含量与各粒径团聚体中有机碳含量表现出正相关关系,与李娟等^[36]研究结果相似。其中,>5 mm,1~2 mm,0.5~1 mm,0.25~0.5 mm 粒径团聚体中有机碳与土壤有机碳呈极显著相关($p<0.01$),而 2~5 mm 粒径团聚体有机碳含量与总有机碳含量呈显著相关($p<0.05$),<0.25 mm 粒径团聚体相关性不显著。由此可知,土壤中的有机碳含量主要受<5 mm,1~2 mm,0.5~1 mm,0.25~0.5 mm 粒径团聚体中有机碳含量的影响,<0.25 mm 粒径团聚体对其影响较小,而>5 mm 粒径其相关系数($R^2=0.9557$)最大。由此可知,该粒径中有机碳含量

对土壤总有机碳含量的影响最大。在本研究结果中,各粒径团聚体有机碳对土壤有机碳含量的影响与李娟等^[36]研究结果有所不同,这可能是由于不同地区土壤类型不同造成的。

表 6 土壤有机碳含量与团聚体中有机碳含量的关系

团聚体粒径/mm	相关性公式	相关系数 R^2
>5	$y=1.1225x-3.2875$	0.9557**
2~5	$y=0.7755x+2.8530$	0.7746*
1~2	$y=0.8937x-0.3377$	0.8796**
0.5~1	$y=0.8845x+3.0396$	0.9297**
0.25~0.5	$y=0.7818x+6.7446$	0.8981**
<0.25	$y=0.3349x+18.272$	0.0379

注:**表示在 $p<0.01$ 水平下极显著相关;*表示在 $p<0.05$ 水平下显著相关。

3 结论

(1) 名山河流域土壤有机碳含量为 17.50~34.70 g/kg, 在不同土层中, 土壤有机碳含量随土层深度的增加而降低, 表层(0—20 cm)土壤有机碳含量大小关系为水稻土>黄壤>紫色土, 下层土壤(20—40 cm)有机碳含量表现为水稻土>紫色土>黄壤, 土壤活性有机碳含量与土壤有机碳含量呈极显著正相关, 其分布特征与土壤有机碳具有相似规律。

(2) 不同的土地利用方式下, 土壤有机碳及活性有机碳含量分布有所差异。水田土壤有机碳及活性有机碳含量显著高于旱地、茶园和果园, 表层土壤(0—20 cm)有机碳含量大小关系为水田>旱地>果园>茶园, 下层土壤(20—40 cm)有机碳含量表现为水田>果园>茶园>旱地。

(3) 在不同利用方式下的 3 种土壤, 其团聚体中有机碳含量表现出随土层深度的加深而降低的趋势, 各类型土壤团聚体的单位有机碳含量分布呈波浪形的变化趋势, 名山河流域土壤有机碳含量与各粒径团聚体中有机碳含量呈正相关。

参考文献:

- [1] 芦思佳. 土壤有机碳的影响因素研究进展[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(6): 3078-3080.
- [2] 杨红飞, 穆少杰, 李建龙, 等. 陆地生态系统土壤有机碳储量研究进展[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(2): 10-12.
- [3] 柯姻姘, 张璐, 苏志尧. 粤北亚热带山地森林土壤有机碳沿海拔梯度的变化[J]. 生态与农村环境学报, 2012, 28(2): 151-156.
- [4] 李顺江, 胡霞, 刘连友. 开垦对退化沙质草地土壤机械组成及有机碳分布的影响[J]. 水土保持研究, 2011, 18(4): 150-152.
- [5] 黄丹丹, 刘淑霞, 张晓平, 等. 保护性耕作下土壤团聚体组成及其有机碳分布特征[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(8): 1560-1565.
- [6] 张家春, 刘盈盈, 贺红早, 等. 土壤团聚体与有机碳固定关系研究进展[J]. 福建农业学报, 2016, 31(3): 319-325.
- [7] 刘中良, 宇万太. 土壤团聚体中有机碳研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(2): 447-455.
- [8] He N P, Wu L, Wang Y S, et al. Changes in carbon and nitrogen in soil particle-size fractions along a grassland restoration Chrono sequence in northern China[J]. Geoderma, 2009, 150(3/4): 302-308.
- [9] 王秀丽, 张凤荣, 朱泰峰, 等. 北京山区土壤有机碳分布及其影响因素研究[J]. 资源科学, 2013, 35(6): 1152-1158.
- [10] 赵锐锋, 张丽华, 赵海莉, 等. 黑河中游湿地土壤有机碳分布特征及其影响因素[J]. 地理科学, 2013, 33(3): 363-370.
- [11] 刘伟, 程积民, 高阳, 等. 黄土高原草地土壤有机碳分布及其影响因素[J]. 土壤学报, 2012, 49(1): 68-76.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [13] Six J, Paustian K, Elliott E T, et al. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate - size classes and aggregate-associated carbon [J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64(2): 681-689.
- [14] 李金全, 王晶, 曾文静, 等. 城市不同绿地类型土壤有机碳的垂直分布特征及储量[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(21): 12787-12788.
- [15] 蔡家艳, 吴琴, 钟欣孜, 等. 鄱阳湖区不同围垦年限稻田土壤碳氮变化[J]. 生态学杂志, 2016, 35(8): 2009-2013.
- [16] 胡海清, 陆昕, 孙龙, 等. 土壤活性有机碳分组及测定方法[J]. 森林工程, 2012, 28(5): 18-22.
- [17] 祁心, 江长胜, 郝庆菊, 等. 缙云山不同土地利用方式对土壤活性有机碳、氮组分的影响[J]. 环境科学, 2015, 36(10): 3816-3824.
- [18] 胡玉福, 彭佳佳, 蒋双龙, 等. 川中丘陵区不同土地利用方式土壤活性有机碳含量特征研究[J]. 水土保持学报, 2014, 28(2): 221-225, 231.
- [19] 朱晓婷, 王克勤, 陈敏全, 等. 昆明松华坝水源区不同土地利用方式对土壤有机碳及活性有机碳组分的影响[J]. 东北林业大学学报, 2016, 44(2): 26-30.
- [20] 邓万刚, 吴蔚东, 陈明智, 等. 土地利用方式及母质对土壤有机碳的影响[J]. 生态环境学报, 2008, 17(3): 1130-1134.
- [21] 周萍, 宋国茵, 潘根兴, 等. 3 种南方典型水稻土长期试验下有机碳积累机制研究 II. 团聚体内有机碳的化学结合机制[J]. 土壤学报, 2009, 46(2): 263-273.
- [22] 邓良基, 何鹏, 高雪松, 等. 川中丘陵区紫色土表层土壤有机碳分布及影响因素[J]. 山地学报, 2006, 24(B10): 1-5.
- [23] 彭琳, 王晓君, 黄从德, 等. 凋落物输入改变对慈竹林土壤有机碳的影响[J]. 水土保持通报, 2014, 34(1): 129-132.
- [24] 张心昱, 陈利钉, 傅伯杰, 等. 农田生态系统不同土地利用方式与管理措施对土壤质量的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(2): 303-309.
- [25] 邬建红, 潘剑君, 葛序娟, 等. 不同土地利用方式下土壤有机碳矿化及其温度敏感性[J]. 水土保持学报, 2015, 29(3): 130-135.
- [26] 李玉琴, 夏建国. 土地利用方式对川西低山区土壤腐殖质组成以及结合形态的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(6): 2441-2444.
- [27] 唐国勇, 黄道友, 黄敏, 等. 红壤丘陵景观表层土壤有机碳空间变异特点及其影响因子[J]. 土壤学报, 2010, 47(4): 753-759.
- [28] Berthrong S T, Piñeiro G, Jobbágy E G, et al. Soil C and N changes with afforestation of grasslands across gradients of precipitation and plantation age[J]. Ecological Applications, 2012, 22(1): 76-86.
- [29] 陈高起, 傅瓦利, 沈艳, 等. 岩溶区不同土地利用方式对土壤有机碳及其组分的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(3): 123-129.