

名山河流域不同类型土壤腐殖质的组成特征

李琳佳¹, 夏建国¹, 鄢广奎², 李欣雨³, 宋承远¹

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

摘要: 以名山河流域不同类型土壤为研究对象, 研究了 3 种土壤类型(黄壤、紫色土、水稻土)和 4 种土地利用方式(水田、旱地、果园、茶园)下腐殖质的组成特征。结果表明: 名山河流域 3 种类型土壤腐殖质含碳量为 9.74~21.66 g/kg, 表层土壤(0—20 cm)大于下层土壤(20—40 cm), 含量由高到低依次为水稻土>紫色土>黄壤, 水稻土与紫色土、黄壤腐殖质碳含量差异显著, 腐殖质各组分碳含量间呈极显著正相关($P<0.01$); 从土地利用方式看, 水田腐殖质含碳量显著高于果园、茶园和旱地, 且腐殖质碳含量与 HA 含量呈极显著正相关($P<0.01$); 土壤的腐殖化程度表现为黄壤>紫色土>水稻土。不同利用方式下重组碳含量表现为水田>果园>茶园>旱地, 茶园表层土壤腐殖质松紧比最大(1.37), 为水田下层土壤的 2.14 倍; 3 种类型土壤团聚体中 HA 含量为 0.02~4.57 g/kg, 且随着粒径的减小呈现先降低后增加的趋势, 除 2~5、<0.25 mm 粒径团聚体外, >5, 1~2, 0.5~1, 0.25~0.5 mm 粒径团聚体均与其 HA 含量呈正相关($P<0.05$)。土壤腐殖质组成受土壤类型及人为耕作管理活动的影响, 4 种土地利用方式下水田土壤肥力最高, HA 含量受>5 mm 粒径团聚体影响最大。

关键词: 腐殖质; 名山河流域; 土壤类型; 团聚体

中图分类号: S153.6⁺22

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)04-0163-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2018.04.026

Composition Characteristics of Humus in Different Types of Soil in the Mingshan River Watershed

LI Linjia¹, XIA Jianguo¹, YAN Guangkui², LI Xinyu³, SONG Chengyuan¹

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

Abstract: The distribution of soil humus was studied under three soil types (yellow soil, purple soil and paddy soil) and four patterns of land use (paddy fields, dryland, orchard and tea garden), samples were collected in Mingshan River watershed. The results showed that the carbon content of three types of soil humus was between 9.74 and 21.66 g/kg, and the content of the surface soil (0—20 cm) was greater than that of the lower soil (20—40 cm), and the content followed the order of paddy soil>purple soil>yellow soil. The carbon content of paddy soil was significantly greater than those of purple soil and yellow soil. The carbon content of each humus component was significantly positively correlated ($P<0.01$). From the way of land use, the carbon content of paddy humus was significantly larger than that of orchard, tea garden and dry land, and it was significantly correlated with HA ($P<0.01$), and the degree of humification of soil was yellow soil>purple soil>paddy soil. The content of the recombinant carbon in different utilization modes was paddy field>orchard>tea garden>dry land. The ratio of the loose humus to the tight humus in the tea garden was the maximum (1.37), which was 2.14 times as high as that of the lower soil of the paddy field. The content of HA in the three types of soil aggregates was between 0.02 and 4.57 g/kg, and the content of the humic acid content decreased first and then increased with the decreasing of the particle size. Except for 2~5 and <0.25 mm aggregates, the aggregates with the sizes of >5, 1~2, 0.5~1 and 0.25~0.5 mm were positively correlated with HA content ($P<0.05$). In conclusion, soil humus composition was affected by soil types and artificial cultivation management activities. Paddy field soil fertility was the highest, and the

收稿日期: 2018-03-31

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(2018)

第一作者: 李琳佳(1994—), 女, 硕士研究生, 主要从事农业资源利用研究。E-mail: 490629444@qq.com

通信作者: 夏建国(1967—), 男, 教授, 主要从事土壤资源与环境研究。E-mail: xiajianguo@126.com

content of HA was most affected by aggregates larger than 5 mm.

Keywords: humus; Mingshan River watershed; soil type; soil aggregate

土壤腐殖质作为植物生长所需各种元素的主要来源,不仅能增加土壤蓄水、保水和保肥能力,促进土壤良好结构的形成,还能对土壤的酸碱性和缓冲性进行改善,是衡量土壤肥力高低的重要标准之一^[1]。腐殖质根据可提取 pH 不同条件下的溶解度差异被分组为胡敏酸(HA)和富里酸(FA)^[2]。重组有机质是以芳香族物质为主体的有机物质,主要为腐殖质^[3],按照其与矿物部分相结合的松紧程度,可分为松结态、稳结态和紧结态^[4]。不同形态的腐殖质含量影响土壤碳的固定,土壤团聚过程决定了土壤有机碳被保护的程 度,而腐殖物质只有被禁锢在团聚体中才能保持其持久性。土壤腐殖质的组成性质状况对土壤的物理、化学及生物学性质等都有重要影响,也反映土壤肥力的高低变化^[5],已成为土壤学、环境化学和地球化学等领域的热点方向^[6]。

土壤类型是影响腐殖质含量及组成特征的重要因素之一^[7-8]。土壤腐殖质还受土壤耕作方式及土地利用方式等因素的影响^[9]。名山河流域土壤类型和土地利用方式多样。近年来关于施肥对腐殖质组分的影响及同一土地利用方式下腐殖质组成差异的研究较多^[10-12],但专门针对于流域各类型土壤腐殖质及团聚体中腐殖质组成特征的研究较少。因此,本文以名山河流域不同类型土壤为研究对象,研究土壤腐殖质组成特征与团聚体中腐殖质含量分布,能够进一步分析土壤凋落物的分解状况,揭示不同凋落物分解后对土壤肥力产生的影响具有指导意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

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,全流域海拔 540~1 440 m。为亚热带季风性湿润气候,冬无严寒、夏无酷热、四季分明、气候温和。土壤类型有黄壤、紫色土、水稻土等,土地利用方式有旱地、水田、茶园、果园、林地等。

1.2 试验材料和样品采集

土壤于 2017 年 4 月采集于名山河流域,选取黄壤、紫色土、水稻土 3 种该地区典型土壤,选择水田、旱地、果园、茶园 4 种土地利用方式,分层采取 0—20,20—40 cm 土层混合样,其中紫色土采样点共 24 个,其中茶园 12 个、果园 6 个以及旱地 6 个,黄壤采样点与紫色土一致。水稻土采样点共 36 个,其中由黄壤和紫色土发育而成的茶园土壤分别设置采样点

12 个、水田土壤采样点 6 个。共设置 84 个采样点,采集土样 168 个。取样点沿名山山河按“S”形布设,每 5 点混合为 1 个样点,采用四分法取土,将采集的新鲜土样装入无菌塑料袋内,在室内自然风干。

1.3 样品测定

土壤基本理化性质参考《土壤农化分析》中的方法^[13],均设置 3 个重复。pH 采用 1:2.5 土水比 Mettler-Toledo 电位计测定;全氮含量采用半微量凯氏法测定;全磷含量采用 NaOH 熔融—钼锑抗比色分析法测定;全钾含量采用 NaOH 熔融—火焰光度法测定;速效氮含量采用碱解扩散法测定;速效磷含量采用钼锑抗比色分析法测定;速效钾含量采用醋酸铵浸提—火焰光度法测定;土壤腐殖质采用分组测定^[14];土壤结合态腐殖质分组的测定参照熊毅—傅积平改进法^[4];土壤团聚体采用沙维诺夫湿筛法^[15]测定。供试土壤的基本性质见表 1。

1.4 数据统计分析

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

2 结果与分析

2.1 不同土壤类型的腐殖质组成特征

2.1.1 不同土壤类型中的腐殖质的组成特征 土壤腐殖质的组成和性质反映了土壤形成条件及形成过程^[16],各个组分的含量和所占的比例直接关系到土壤的肥力状况,不同土壤类型中腐殖质的含量与组成各不相同。本研究表明(表 2),3 种土壤类型腐殖质碳含量均为表层土壤(0—20 cm)大于下层土壤(20—40 cm)。有研究^[16]表明,随着土层深度的增加,土壤腐殖质碳含量随之降低,这与本研究一致,这是由于随土层深度增加土壤有机质含量降低。3 种土壤腐殖质碳含量、HA 碳含量、FA 碳含量及 HM 碳含量两两呈极显著正相关($P < 0.01$)(表 3),这与牛灵安等^[17]的研究一致。

从表层土壤看(表 2),水稻土腐殖质碳含量最高,达 21.66 g/kg,明显高于黄壤(14.43 g/kg)和紫色土(14.87 g/kg),黄壤与紫色土中的腐殖质含碳量、HA 含碳量、FA 含碳量差异较小,下层土壤中腐殖质碳含量与各组分含碳量表现为水稻土 > 紫色土 > 黄壤,与表层土壤一致。FA 含碳量占腐殖质碳的比例为 29.62%~34.81%,HA 含碳量表现为水稻土 > 紫色土 > 黄壤,与 3 种土壤腐殖质含量大小顺序一致。

表1 供试土壤基本性质

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

注: * 为黄壤性水稻土(第四纪更新统老冲积黄壤发育的水稻土); ** 为紫色土性水稻土(白垩纪夹关组发育的水稻土)。

表2 不同土壤类型腐殖质组成统计分析

土层深度/cm	土壤类型	腐殖质碳/ (g·kg ⁻¹)	各组分含碳量/(g·kg ⁻¹)			各组分占比/%			HA/FA
			HA	FA	HM	HA	FA	HM	
0—20	黄壤	14.43±0.73Bb	1.56±0.06Bb	5.00±0.11Bb	7.87±0.11Bb	10.80	34.67	54.53	0.31
	紫色土	14.87±0.61Bb	1.59±0.03Bb	5.18±0.09Bb	8.10±0.33Bb	10.71	34.81	54.48	0.31
	水稻土	21.66±1.67Aa	2.89±0.15Aa	7.03±0.11Aa	11.74±0.46Aa	13.36	32.44	54.20	0.41
20—40	黄壤	9.74±0.28Bb	0.80±0.04Bc	3.22±0.08Bb	5.72±0.29Bb	8.19	33.06	58.74	0.25
	紫色土	9.86±0.40Bb	1.18±0.08Bb	3.30±0.13Bb	5.37±0.25Bb	11.98	33.51	54.51	0.36
	水稻土	20.03±0.16Aa	2.79±0.24Aa	5.93±0.11Aa	11.30±0.45Aa	13.94	29.62	56.44	0.47

注:表中数据为平均值±标准差;不同大写字母表示在同一土层不同类型土壤之间差异显著($P<0.01$);不同小写字母表示在同一土层不同类型土壤之间差异显著($P<0.05$)。下同。

2.1.2 不同土壤类型中的腐殖质结合形态 黄壤、紫色土和水稻土表层土壤结合态腐殖质含量均高于下层土壤,水稻土表层与下层土壤中结合态腐殖质含量与黄壤和紫色土结合态腐殖质含量差异显著($P<0.01$)(表3),其含量大小表现为水稻土>黄壤>紫色土(表4)。从腐殖质结合形态看,紧结态腐殖质在3种土壤类型中含量最多,为4.34~9.51 g/kg,其占结合态腐殖质比例均高于48%(表4)。土壤肥力的高低在很大程度上取决于结合态腐殖质的组成^[18],松结态碳对土壤有效养分的供应起着重要作用,而紧结态碳在全量养分的保贮及稳定结构方面起着重要作用^[19],水稻土表层土壤与下层含量差异小,松结态、紧结态腐殖质含量最高,表明水稻土在3种土壤中具有较好的养分供应能力,能更好地保贮养分及稳定土壤结构。

土壤的肥力水平更受结合态腐殖质松紧比的影响,腐殖质松紧比越大,则土壤的腐殖化程度越高,对形成良好土壤结构的能力越强^[20],且土壤的腐殖化程度随土壤熟化程度而增加^[21]。3种土壤腐殖质松紧比为黄壤>紫色土>水稻土,且均表现为下层土壤大于表层土壤,表明黄壤的腐殖化程度较紫色土与水稻土高,且这3种土壤下层形成良好土壤结构的能力更强。

表3 腐殖质碳含量及各组分碳含量的相关系数

碳组分	腐殖质碳	HA	FA	HM	HA/FA
腐殖质碳	1				
HA	0.979**	1			
FA	0.980**	0.933**	1		
HM	0.997**	0.978**	0.965**	1	
HA/FA	0.764	0.875*	0.659	0.769	1

注: ** 表示在 $P<0.01$ 水平上极显著相关; * 表示在 $P<0.05$ 水平上显著相关。

表 4 不同土壤类型腐殖质结合形态统计分析

土层 深度/cm	土壤 类型	重组碳/ (g·kg ⁻¹)	结合形态/(g·kg ⁻¹)			占重组碳比例/%			松/紧
			松结态	稳结态	紧结态	松结态	稳结态	紧结态	
0—20	黄壤	13.28±0.44Bc	5.66±0.26Bb	0.82±0.03Cc	6.81±0.15Bb	42.60	6.15	51.25	0.83
	紫色土	12.38±0.41Bb	5.33±0.21Bb	0.50±0.04Bb	6.56±0.07Bc	43.02	4.02	52.96	0.81
	水稻土	18.01±0.41Aa	7.21±0.15Aa	1.29±0.05Aa	9.51±0.12Aa	40.02	7.16	52.82	0.76
20—40	黄壤	8.89±0.40Bb	4.15±0.15Bb	0.34±0.01Cc	4.40±0.11Bb	46.68	3.85	49.47	0.94
	紫色土	8.77±0.28Bb	3.93±0.19Bb	0.50±0.05Bb	4.34±0.22Bb	44.84	5.67	49.49	0.91
	水稻土	16.14±0.19Aa	7.16±0.18Aa	1.08±0.07Aa	7.90±0.06Aa	44.39	6.66	48.95	0.91

2.2 不同土地利用方式下土壤腐殖质组成特征

2.2.1 不同土地利用方式下土壤腐殖质的组成含量

在名山河流域的 4 种土地利用方式中,腐殖质碳含量的大小表现为水田>果园>茶园>旱地,且表层土壤腐殖质碳含量均高于下层土壤,水田表层土壤腐殖质碳含量最大,为 28.65 g/kg(表 5)。不同利用方式土壤胡敏酸与富里酸比值的关系规律与腐殖质含量的关系规律相同,HA/FA 越大,PQ 值越高,腐殖质品质越好^[22]。水田的 HA/FA 和 PQ 值最大,说明水田的肥力水平在这 4 种利用方式下最高,这与李玉琴等^[23]的研究一致。

表 5 不同土地利用方式腐殖质组成统计分析

土层 深度/cm	土壤 类型	腐殖质碳/ (g·kg ⁻¹)	各组分含碳量/(g·kg ⁻¹)			各组分占比/%			HA/FA
			HA	FA	HM	HA	FA	HM	
0—20	茶园	13.90±0.42Cc	1.60±0.06Bb	5.41±0.18Bb	6.89±0.15Cc	11.52	38.91	49.56	0.30
	旱地	15.56±0.46Bb	1.61±0.10Bb	5.23±0.23Bb	8.72±0.36Bb	10.33	33.63	56.04	0.31
	果园	15.26±0.20Bb	1.57±0.08Bb	4.78±0.11Bc	8.91±0.45Bb	10.30	31.30	58.40	0.33
	水田	28.65±0.52Aa	4.13±0.30Aa	8.49±0.28Aa	16.02±0.18Aa	14.42	29.65	55.93	0.49
20—40	茶园	10.92±0.57Bc	1.41±0.14Bb	3.99±0.32Bb	5.51±0.27Cc	12.96	36.60	50.45	0.35
	旱地	8.59±0.47Cd	0.80±0.13Bb	3.07±0.20Cc	4.72±0.36Cd	9.36	35.76	54.88	0.26
	果园	11.88±0.15Bb	1.07±0.16Bb	3.27±0.19Cc	7.54±0.33Bb	9.04	27.51	63.45	0.33
	水田	27.15±0.42Aa	3.85±0.37Aa	7.32±0.16Aa	15.98±0.44Aa	14.17	26.97	58.87	0.53

2.2.2 不同土地利用方式下土壤腐殖质结合形态

名山河流域 4 种土地利用方式下,表层土壤重组碳含量高于下层土壤,水田的重组碳含量显著高于茶园、旱地和果园,而茶园、旱地和果园的重组碳含量差异不显著。稳结合态腐殖质和紧结合态腐殖质均表现为水田>果园>旱地>茶园,松结合态腐殖质则为水田>茶园>旱地>果园(表 6)。

4 种利用方式下松结态和紧结态腐殖质碳占重组碳比例之和均超过 90%,表明土壤中腐殖质以紧结态和松结态方式为主,稳结态所占比例较小,这与史吉平等^[27]的研究一致。松结合态腐殖质与紧结合态腐殖质的比值为 0.64~1.37,水田松结合态腐殖质与紧结合态腐殖质的比值最小,茶园土壤腐殖质松紧比最大,表层与下层土壤均大于 1,这说明茶园土壤的腐殖化程度较高,对形成良好土壤结构的能力强,茶树根部分泌出的部分有机酸会对土壤的酸碱度

这是由于在腐殖质形成过程中,输入到土壤中的植物物质首先形成胡敏酸,然后在微生物氧化作用下分裂成富里酸,最后矿化成 CO₂^[24]。而水田经常处于渍水的还原环境下,淹水还原条件会阻碍微生物对有机质的进一步分解,因此有利于胡敏酸的形成和积累^[25]。

旱地下层土壤腐殖质碳含量最低,为 8.59 g/kg,且 HA/FA 最小,为 0.26,表明旱地下层土壤腐殖质聚合程度较低,质量较差,土壤肥力较差,而有研究表明长期耕作施肥使土壤腐殖质总量降低,土壤肥力退化^[26],这可能是由于旱地耕作较为频繁的结果。

产生影响^[28],使茶园土壤酸性较高(表 1),在酸性土壤中,盐基饱和度很低,铁铝氧化物是主要的胶结物质,这有利于形成松结态腐殖质^[29]。

2.3 HA 在团聚体中的分布特征

土壤团聚体不仅影响土壤的孔隙度、持水性、通透性和抗蚀性、养分运移等物理性质,也影响土壤碳、氮循环以及养分积蓄与释放等化学性质^[30]。水田>5 mm 粒径团聚体为占总团聚体的比例为 75.44%~81.58%,在水田土壤团聚体中占主导地位,而 2~5,1~2,0.5~1,0.25~0.5,<0.25 mm 粒径占总团聚体的差异较小。旱地、黄壤茶园土壤团聚体主要分布在>5,0.5~1,<0.25 mm 这 3 种粒径,其总和超过总团聚体的 70%以上,紫色土、水稻土茶园土壤团聚体则主要分布在 0.5~1,0.25~0.5,<0.25 mm。果园各粒径团聚体在黄壤中的分布以>5,<0.25 mm 粒径团聚体为主,在紫色土中则以>5 mm 占主要地位(表 7)。

表 6 不同利用方式腐殖质结合形态统计分折

土层 深度/cm	土壤 类型	重组碳/ (g·kg ⁻¹)	结合形态/(g·kg ⁻¹)			占重组碳比例/%			松/紧
			松结态	稳结态	紧结态	松结态	稳结态	紧结态	
0—20	茶园	12.91±0.46Bb	6.29±0.28Bb	0.51±0.09Cc	6.11±0.23Cc	48.72	3.97	47.31	1.03
	旱地	13.42±0.74Bb	5.50±0.38Bc	0.86±0.06Bb	7.05±0.14Bb	40.99	6.45	52.56	0.78
	果园	13.39±0.63Bb	5.23±0.44Bc	0.80±0.07Bb	7.36±0.22Bb	39.09	5.98	54.93	0.71
	水田	22.69±0.56Aa	8.38±0.28Aa	1.86±0.13Aa	12.45±0.23Aa	36.93	8.20	54.87	0.67
20—40	茶园	9.62±0.25Bb	5.28±0.39Bb	0.48±0.07Bb	3.86±0.19Cc	54.91	4.94	40.15	1.37
	旱地	8.31±0.31Cc	3.78±0.29Cc	0.41±0.07Bb	4.12±0.14Cc	45.47	4.88	49.65	0.92
	果园	9.72±0.41Bb	3.63±0.34Cc	0.54±0.06Bb	5.55±0.14Bb	37.34	5.54	57.12	0.65
	水田	20.87±0.56Aa	7.58±0.37Aa	1.51±0.11Aa	11.78±0.29Aa	36.31	7.25	56.44	0.64

表 7 不同土壤团聚体分布特征

土壤 类型	利用 类型	土层 深度/cm	单位:%					
			>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±0.37Bb	5.55±0.13Bb	8.93±0.26Bb	19.27±0.22Bc	15.65±0.19Cc	25.83±0.86Cc
		20—40	21.66±0.44Cc	7.49±0.28Aa	6.39±0.18Cc	19.96±0.28Bb	11.31±0.29Ef	33.19±0.65Bb
	果园	0—20	19.27±0.19Dd	5.24±0.21Bb	10.06±0.20Aa	20.32±0.54Bb	11.76±0.22Ee	33.35±0.79Bb
		20—40	48.07±0.25Aa	2.79±0.18Cc	3.95±0.47Ff	7.87±0.14De	12.64±0.28Dd	24.68±0.92Cc
紫色土	旱地	0—20	25.01±0.32Bb	3.02±0.32Cc	4.93±0.10Ee	13.60±0.15Cd	19.83±0.38Aa	33.60±0.27Bb
		20—40	7.65±0.31Ee	2.02±0.16Dd	5.52±0.15Dd	23.24±0.43Aa	16.80±0.19Bb	44.77±0.86Aa
	茶园	0—20	8.90±0.16Ee	4.51±0.39Cc	5.73±0.39Cd	24.14±0.67Bb	21.27±0.68Aa	35.45±0.49Ab
		20—40	2.95±0.09Ff	2.33±0.28Ee	6.57±0.43Bc	36.26±0.48Aa	15.29±0.20Bb	36.60±0.76Aa
水稻土	果园	0—20	71.50±0.62Aa	5.53±0.29Bb	7.92±0.44Bb	7.35±0.52Ff	2.99±0.15Ff	4.70±0.78Ef
		20—40	68.39±0.43Bb	5.73±0.58Bb	5.52±0.38Cd	8.84±0.49Ee	4.55±0.34Ee	6.98±0.82De
	旱地	0—20	38.01±0.75Dd	7.10±0.62Aa	11.25±0.72Aa	20.55±0.45Cc	10.38±0.31Cc	12.71±0.26Cd
		20—40	48.28±0.44Cc	3.54±0.15Dd	7.48±0.36Bb	13.69±0.58Dd	8.72±0.62Dd	18.28±0.86Bc
黄壤茶园	黄壤茶园	0—20	5.23±0.56Ff	2.93±0.52De	10.01±0.77Bb	32.68±1.03Bb	23.12±0.92Aa	26.03±0.56Cc
		20—40	10.82±0.47Ee	5.45±0.55Aa	12.68±0.71Aa	35.42±0.79Aa	9.46±0.65Dd	26.16±0.18Cc
	黄壤水田	0—20	76.11±0.76Bb	3.35±0.51CDd	3.26±0.46De	6.78±0.53Ee	3.65±0.36Eef	6.86±0.52DEde
		20—40	75.44±0.57Bb	5.03±0.31Aab	3.43±0.65CDde	5.20±0.54FGf	3.13±0.12Ef	7.78±0.80Dd
紫色土茶园	紫色土茶园	0—20	26.76±0.55Cc	3.35±0.33CDd	4.68±0.55Cc	13.78±0.54Dd	18.99±0.67Bb	32.44±0.53Bb
		20—40	16.50±0.47Dd	3.22±0.24CDd	4.25±0.61Ccd	17.07±0.72Cc	15.72±0.76Cc	43.25±0.54Aa
	紫色土水田	0—20	81.58±0.53Aa	3.87±0.63BCcd	3.22±0.33De	4.00±0.67Gg	1.43±0.25Fg	5.92±0.77Ee
		20—40	76.38±1.01Bb	4.36±0.32ABabc	4.92±0.36Cc	6.44±0.45EFe	4.22±0.21Ee	3.69±0.65Ff

注:表中数据为平均值±标准差,不同大写字母表示同类型土壤不同利用方式之间差异显著($P<0.01$);不同小写字母表示同类型土壤不同利用方式之间差异显著($P<0.05$)。

HA 分子结构复杂,分子量较大,富含脂肪族与芳香族的结构,能抗微生物分解^[31],在养分贮藏和土壤结构保持方面具有重要作用^[32]。黄壤团聚体中 HA 含量为 0.04~0.91 g/kg,紫色土团聚体中 HA 含量为 0.02~1.50 g/kg,水稻土团聚体中 HA 含量为 0.13~4.57 g/kg,随着粒径的减小,整体呈现出先降低后增加的趋势(图 1)。

名山河流域 3 种类型土壤中水田、果园均表现为 >5 mm 团聚体中 HA 含量最高,这可能是由于这两种利用方式下土壤中 >5 mm 粒径团聚体含量最高,>5 mm 粒径团聚体含量与该粒径中 HA 含量呈极

显著正相关($P<0.01$)(表 8),进入土壤的凋落物或植物根系分泌物等有机物质被团聚进入到大团聚体中^[33],更多的植物残体或者说有机碳贮存于大团聚体中,这与团聚体的多级形成机制有关^[34],大团聚体中大量的植物残体有利于 HA 的形成。

也有研究^[35]表明,大团聚体中的有机碳是不稳定的,名山河流域紫色土旱地土壤中 >5 mm 粒径团聚体含量为 43.14%,0.5~1 mm 粒径团聚体含量为 17.12%,但前者中 HA 含量却明显低于后者,这可能是由于不同粒径团聚体拥有不同尺度大小的多级孔隙单元,土壤矿物颗粒在有机质和氧化物等胶结作用下形成

微团聚体,同时在单个土壤矿物之间产生微小的孔隙,许多微团聚体在生物和物理因素作用下进一步形成较大的团聚体,在微团聚体之间产生更多的孔隙^[36]。孔隙大小分布控制气体扩散和微生物的活动,影响有机碳数量、重新分配及质量^[37], >5 mm 粒径团聚体微生物活性较强,且孔隙保护作用弱,与此相比, $0.5\sim 1$ mm 粒径团聚体更有利于 HA 的形成和稳定。

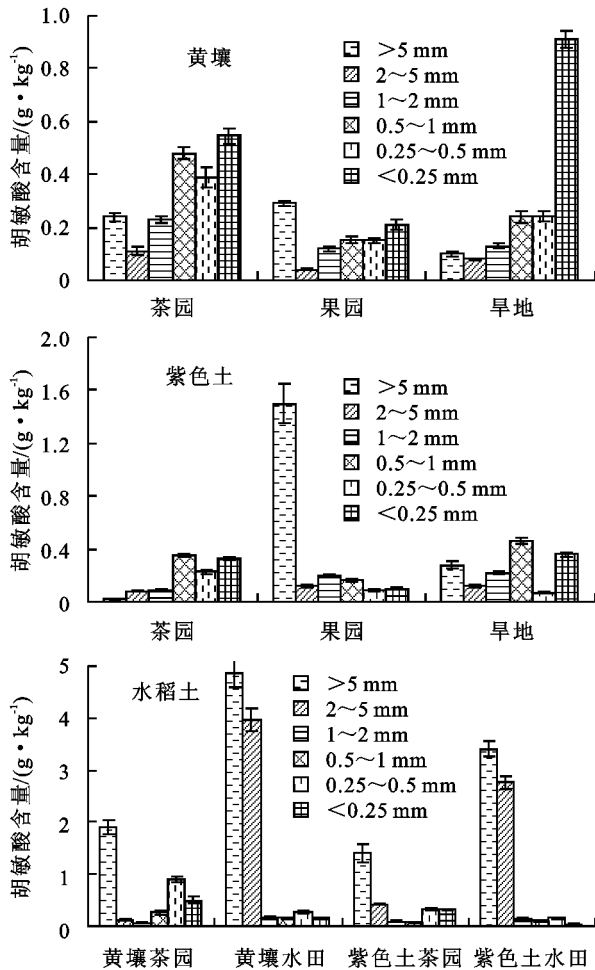


图 1 不同粒径土壤团聚体中胡敏酸含量

>5 mm 粒径团聚体含量与 HA 含量呈极显著正相关($P<0.01$), $1\sim 2$, $0.5\sim 1$, $0.25\sim 0.5$ mm 粒径团聚体含量与 HA 含量呈显著相关($P<0.05$), $2\sim 5$, <0.25 mm 粒径团聚体相关性不显著(表 8)。由此可知, >5 mm 粒径团聚体含量对 HA 含量影响最大, $1\sim 2$ mm 粒径团聚体次之。

表 8 土壤各团聚体含量与胡敏酸含量的关系

团聚体粒径/mm	相关系数	P 值
>5	0.864**	0.003
$2\sim 5$	0.369	0.328
$1\sim 2$	0.796*	0.010
$0.5\sim 1$	0.761*	0.017
$0.25\sim 0.5$	0.713*	0.031
<0.25	0.497	0.173

3 结论

(1) 名山河流域 3 种类型土壤腐殖质碳及各组分碳含量表现为水稻土 $>$ 紫色土 $>$ 黄壤,两两呈极显著正相关($P<0.01$),且随土层深度增加而降低。3 种土壤 HA/FA 均小于 1,其中水稻土 HA/FA 值、PQ 值最大。结合态腐殖质含量表现为紧结态 $>$ 松结态 $>$ 稳结态,下层土壤松紧比大于表层土壤,3 种土壤中黄壤腐殖化程度最高。

(2) 4 种利用方式下土壤腐殖质碳含量范围为 $8.59\sim 28.65$ g/kg,水田腐殖质碳含量最高,且与另 3 种利用方式下腐殖质碳含量差异显著。结合态腐殖质均以紧结态和松结态为主,松紧比表现为茶园 $>$ 旱地 $>$ 果园 $>$ 水田。

(3) 不同利用方式下的 3 种土壤团聚体中 HA 含量随粒径减小整体呈现出先下降后上升的趋势, >5 mm 粒径团聚体中 HA 含量与该粒径占团聚体百分含量呈极显著正相关($P<0.01$), $1\sim 2$, $0.5\sim 1$, $0.25\sim 0.5$ mm 粒径团聚体含量与 HA 含量呈显著相关($P<0.05$)。水田、果园均表现为 >5 mm 团聚体中 HA 含量最高。

参考文献:

- [1] 姜海. 吉林玉米带土壤腐殖质组成及其与土壤酸度的关系[D]. 长春:吉林农业大学,2013.
- [2] Pramanik P, Kim P J. Fractionation and characterization of humic acids from organic amended rice paddy soils[J]. Science of the Total Environment, 2014, 466/467(1):952-956.
- [3] 张文菊,彭佩钦,董成立,等. 洞庭湖湿地有机碳垂直分布与组成特征[J]. 环境科学,2005,26(3):56-60.
- [4] 傅积平. 土壤结合态腐殖质分组测定[J]. 土壤通报, 1983(2):36-37.
- [5] 李忠佩,程励励,林心雄. 红壤腐殖质组成变化特点及其与肥力演变的关系[J]. 土壤,2002,34(1):9-15.
- [6] 王晶,何忠俊,王立东,等. 高黎贡山土壤腐殖质特性与团聚体数量特征研究[J]. 土壤学报,2010,47(4):723-733.
- [7] 王峰,陈玉真,尤志明,等. 不同类型茶园土壤腐殖质剖面分布特征研究[J]. 茶叶科学,2015,35(3):263-270.
- [8] 马云飞,尹启生,张艳玲,等. 我国浓香型烟区土壤腐殖质组成特征[J]. 中国烟草科学,2011,32(5):10-13.
- [9] 韩宾,徐尚起,张海林,等. 耕作方式对土壤腐殖质结合状态及组成的影响[J]. 中国农业大学学报,2010,15(1):72-78.
- [10] 王维,吴景贵,李蕴慧,等. 有机物料对不同作物根系土壤腐殖质组成和结构的影响[J]. 水土保持学报,2017,31(2):215-220.

- [11] 马连刚,肖保华. 土壤腐殖质提取和分组综述[J]. 矿物岩石地球化学通报,2011,30(4):465-471.
- [12] 贾树海,王薇薇,张日升. 不同林型土壤有机碳及腐殖质组成的分布特征[J]. 水土保持学报,2017,31(6):189-195.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [14] 窦森,于水强,张晋京. 不同 CO₂ 浓度对玉米秸秆分解期间土壤腐殖质形成的影响[J]. 土壤学报,2007,44(3):458-466.
- [15] 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.
- [16] 盛炜彤,杨承栋,范少辉. 杉木人工林的土壤性质变化[J]. 林业科学研究,2003,16(4):377-385.
- [17] 牛灵安,郝晋珉,李吉进. 盐渍土熟化过程中腐殖质特性的研究[J]. 土壤学报,2001,38(1):114-122.
- [18] 张晋京,窦森,江源,等. 玉米秸秆分解期间土壤中有机碳数量的动态变化[J]. 吉林农业大学学报,2000,22(3):67-72.
- [19] 马生发,陈红,曹宏. 黄土高原沟壑区利用苜蓿复耕对土壤腐殖质特性的影响[J]. 水土保持学报,2011,25(1):229-233.
- [20] Asseng S, Ritchie J T, Smucker A J M, et al. Root growth and water uptake during water deficit and recovering in wheat[J]. Plant and soil,1998,201(2):265-273.
- [21] 古小治,章钢娅,俞元春,等. 滨海水稻土腐殖质的组成及随种稻时间演变的研究初报[J]. 土壤学报,2008,45(4):635-640.
- [22] 褚慧,宗良纲,汪张颀,等. 不同种植模式下菜地土壤腐殖质组分特性等动态变化[J]. 土壤学报,2013,50(5):86-93.
- [23] 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.
- [24] 李学垣. 土壤化学[M]. 北京:高等教育出版社,2001.
- [25] 杨继松,于君宝,刘景双,等. 三江平原典型湿地土壤腐殖质的剖面分布及其组成特征[J]. 土壤通报,2006,37(5):865-868.
- [26] 刘鑫,窦森,李长龙,等. 开垦年限对稻田土壤腐殖质组成和胡敏酸结构特征的影响[J]. 土壤学报,2016,53(1):137-145.
- [27] 史吉平,张夫道,林葆. 长期定位施肥对土壤腐殖质结合形态的影响[J]. 土壤肥料,2002(6):8-12.
- [28] 徐建民,袁可能. 有机矿质复合体研究 VII. 土壤结合态腐殖质的形成特点及其特征[J]. 土壤学报,1995,32(2):151-158.
- [29] 李欣雨,夏建国,李琳佳,等. 低分子量有机酸对茶园土壤团聚体吸附 Cu²⁺ 的影响[J]. 农业环境科学学报,2017,36(2):272-278.
- [30] Adesodun J K, Mbagwu J S C, Oti N. Distribution of carbon, nitrogen and phosphorus in water-stable aggregates of an organic wasteamended Ultisol in southern Nigeria[J]. Bioresource Technology,2005,96(4):509-516.
- [31] Palomba S, Orio F, Russl T, et al. Characterization of humic carbon in soil aggregates in a long-term experiment with manure and mineral fertilization[J]. Soil Science Society of America Journal,2012,76:880-890.
- [32] 关松,窦森,马丽娜,等. 长施马粪对暗棕壤团聚体腐殖质数量和质量的影响[J]. 土壤学报,2017,54(5):1195-1204.
- [33] Tian J, Pausch J, Yu G R, et al. Aggregate size and their disruption affect ¹⁴C-labeled glucose mineralization and priming effect[J]. Applied Soil Ecology,2015,90:1-10.
- [34] Verchot L V, Dutaur L, Shepherd K D, et al. Organic matter stabilization in soil aggregates: Understanding the biogeochemical mechanisms that determine the fate of carbon inputs in soil[J]. Geoderma,2011,161:182-193.
- [35] Puget P, Chenu C, Balesdent J. Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils[J]. European Journal of Soil Science,1995,46:449-459.
- [36] 李文昭,周虎,陈效民,等. 基于同步辐射显微 CT 研究不同施肥措施下水稻土团聚体微结构特征[J]. 土壤学报,2014,51(1):67-74.
- [37] Lugato E, Morari F, Nardi S, et al. Relationship between aggregate pore size distribution and organic humic carbon in contrasting soil[J]. Soil and Tillage Research,2009,103:153-157.