

杨慧,白冰,谢银财,等. 桂林毛村岩溶区自然植被土壤团聚体中腐殖质组成初步研究[J]. 中国岩溶, 2016, 35(1): 19-26.

DOI: 10. 11932/karst20160104

桂林毛村岩溶区自然植被土壤团聚体中腐殖质组成初步研究

杨慧,白冰,谢银财,曹建华

(中国地质科学院岩溶地质研究所/国土资源部、广西壮族自治区岩溶动力学重点实验室/

联合国教科文组织国际岩溶研究中心, 广西 桂林 541004)

摘要:探索土壤有机碳物理保护与化学保护的关系,有助于揭示土壤固碳和培肥机理,明确不同粒级团聚体和不同腐殖物质组分对土壤固碳和肥力的贡献。本研究对岩溶区自然植被土壤团聚体中腐殖质含量进行了研究,结果表明:(1)灌丛和林地土壤团聚体中有机碳含量总体上均表现为随着土层深度的增加逐渐下降,而在不同土层深度随着团聚体粒径范围的变化则有机碳含量的变化规律则不同,无明显一致的规律;(2)两种土地利用方式各粒径团聚体中胡敏酸和富里酸均比全土小。这可能是由于在湿筛分离团聚体的过程中溶于水的那部分胡敏酸和富里酸成分被损失掉;(3)各腐殖质组分随着团聚体粒径范围的减小在两种自然植被上均无明显一致的规律,但胡敏酸和富里酸总量则基本表现为随着团聚体粒径范围的减小而逐渐升高,即在 $<0.25\text{ mm}$ 和 $0.5\sim 0.25\text{ mm}$ 粒径范围团聚体中最大;(4)两种自然植被土壤各土层中和各团聚体中胡敏酸/富里酸(HA/FA)基本上表现为小于1,这主要是因为研究区温度相对较高,湿度较大,植被覆盖度大,微生物降解作用强所致。

关键词:岩溶区;土壤团聚体;腐殖质;有机碳;自然植被

中图分类号:X144

文献标识码:A

文章编号:1001-4810(2016)01-0019-08

腐殖质是由动、植物及微生物残体经生物酶分解、氧化以及微生物合成等过程逐步演化而形成的一类高分子芳香族酰类聚合物^[1],是土壤有机质的主体,对土壤的一系列性质和形态产生影响,同时也是土壤肥力的主要标志^[2]。土壤不同形态的腐殖质含量影响土壤碳的固定,腐殖质与土壤矿物的化学结合是有机碳稳定、防止微生物降解的重要机制^[3]。土壤团聚体是土壤的重要结构单元,是土壤中物质和能量转化及代谢的场所,其数量和质量直接决定土壤质量和肥力^[4]。长期以来,土壤团聚体被作为土壤结构稳定性的替代指标^[5]。随着人们对土壤固碳的深入研究,逐渐认识到土壤团聚体不仅是土壤肥力的重要指

标,也是土壤有机碳稳定和保护的载体^[6]。土壤有机碳的固定效应与团聚体的保护机制密切相关^[7]。土壤团聚过程决定了土壤有机碳被保护的程度^[8]。腐殖物质只有被禁锢在团聚体中才能保持其持久性^[9],一旦团聚体被破坏,腐殖物质将被暴露并受到微生物的作用而分解^[10];腐殖物质是形成稳定性团聚体的胶结物质,也是主要的固碳物质^[11]。由腐殖物质参与形成的团聚体会变得更加稳定,这可能是土壤固碳的最重要的机制^[12]。因此,全面了解土壤有机碳的稳定机制对于估计土壤有机碳的固定潜力,制定相应的土壤管理措施,以提高有机碳固定,充分发挥土壤有机碳的生态功能等具有非常重要的意义。目前,对

基金项目:国家自然科学基金(青年基金项目,41402326);广西自然科学基金(青年基金项目,2013GXNSFBA019217);广西科学研究与技术开发计划项目(桂科能 1598023-1、桂科合 14125008-2-1);中国地质调查项目(12120113005300)

第一作者简介:杨慧(1981-),女,副研究员,博士,主要研究方向为岩溶生态学。E-mail: yanghui-kdl@karst. ac. cn.

收稿日期:2015-04-26

岩溶地区土壤团聚体及有机碳的研究已经有不少报道,比如,李娟等^[13]在贵州花江干热河谷地区研究了岩溶区不同土地利用方式对土壤团聚体有机碳和活性有机碳的影响,认为在岩溶区 5~1 mm 粒径团聚体为土壤有机碳固定的特征团聚体,并且土壤团聚体活性有机碳可以作为衡量岩溶区土壤有机碳动态的一个敏感性指标;魏亚伟等^[14]在桂西北岩溶地区选择 4 种典型生态系统,对比研究了人工干扰等对土壤团聚体结构的影响,结果表明人为干扰或农业耕作破坏了土壤水稳性大团聚体,使其向小粒径转变,土壤结构破坏率增大;陈佳等^[15]对桂西北岩溶地区不同土地利用类型土壤抗蚀性进行了研究,认为人为干扰严重降低了土壤的抗蚀性。目前将岩溶区土壤团聚体与腐殖质结合起来研究的报道还较少,本研究选择广西桂林岩溶区受人为活动干扰较少的自然植被,研究自然条件下土壤团聚体与腐殖质组成的关系,从物理保护和化学保护相结合的角度进行研究土壤有机碳的稳定性机理。探索不同土地利用方式土壤有机碳物理保护与化学保护的关系,有助于揭示土壤固碳和培肥机理,明确不同粒径团聚体和不同腐殖质组分对土壤固碳和肥力的贡献,以期为进一步了解岩溶生态系统中土壤的特性,为岩溶区生态环境的保护和全球气候变化提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于桂林市东南约 30 km 的潮田乡毛村,研究区属中亚热带湿润季风气候,气候四季分明,降雨量的年内分配主要受季风活动影响,分布不均。夏季湿热多雨,秋季干旱少雨。年均降雨量为 1 915 mm,年均气温为 18.8 °C。研究区地层岩性为泥盆系融县组(D_{3r})灰岩。成土母质以石灰岩为主,土壤类型多以棕色石灰土为主。植被为乔木—灌木,层次明显;乔木以青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)为主,灌木以檵木(*Loropetalum chinense*)为主;根据研究区植被特征,本研究选择了乔木林地(以下简称林地)和灌丛 2 种植被类型为研究对象。

1.2 土壤样品采集

分别在灌丛和乔木林地选择 20 m×20 m 的样方,在每个样方内随机选择三个采样点混合采样,并

且分 0~10 cm、10~20 cm 和 20~30 cm 三层采集原状土样,原状土样用方形塑料盒封装,在实验室沿土壤自然结构轻轻剥开,将原状土剥成直径为 1 cm 左右的小土块,并剔除粗根和小石块。土样平摊在通风透气处,自然风干。一部分保持原样进行团聚体分级,另一部分研磨过 100 目尼龙筛,备用。

1.3 室内分析

由于岩溶区石灰土较为粘重^[16],许多团聚体分离方法在分离岩溶区石灰土时效果均不理想,本研究通过大量预实验后,最终对团聚体的分离采用以下方法:称取风干土样 100 g,浸泡过夜,而后将其转移到由孔径分别为 5 mm、2 mm、1 mm、0.5 mm 和 0.25 mm 组成的套筛的最上层,以 2 cm 的振幅往复 30 次,分别将截留在每级筛子上的样品转移到铝盒中,在 45 °C 的烘箱中烘干称重后待测。

全土和团聚体中有机碳测定采用重铬酸钾外加热法;腐殖质组成测定采用氢氧化钠—焦磷酸钠提取法(F-HZ-DZ-TR-0048)。

1.4 数据分析

数据处理、统计分析和作图分别在 Excel2010、SPSS16.0 等软件中进行。土壤团聚体中平均重量直径(MWD)采用公式(1)计算。

$$MWD = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x}_i w_i)}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

式中, \bar{x}_i 为某级团聚体平均直径, w_i 为第 i 级团聚体重量。

2 结果与分析

2.1 土壤有机碳和腐殖质组成特征

两种土地利用方式不同土层深度土壤有机碳和腐殖质含量如图 1 所示。林地的土壤有机碳含量在 21.02~41.02 g/kg 之间;灌丛的有机碳含量在 24.35~39.26 g/kg 之间。林地和灌丛两种腐殖质组分大小在各土层深度上表现的趋势不尽一致,但总体上各土层深度土壤有机碳含量和各腐殖质组分含量均为林地大于灌丛。而胡敏酸与富里酸之比(HA/FA)用来表示土壤腐殖质的组分特征。研究区除林地 10~20 cm 土层深度的 HA/FA 略大于 1 之外,其余土层均表现为 HA/FA<1。

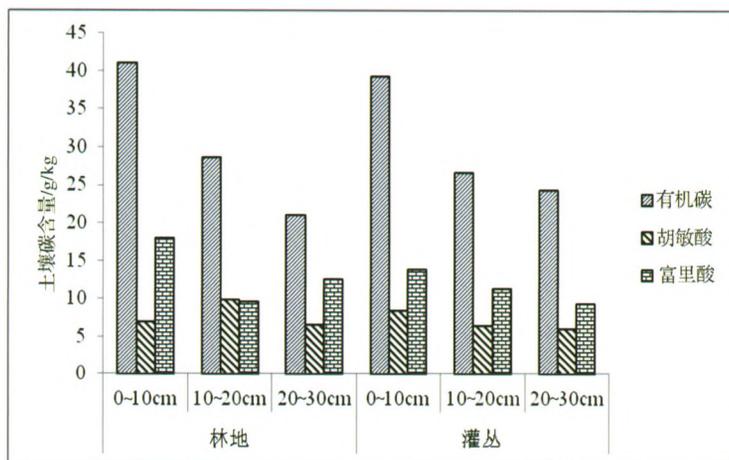


图 1 供试土壤有机碳和腐殖质组分含量

Fig. 1 The contents of soil organic carbon and humus

2.2 土壤团聚体组成及稳定性

灌丛和林地各土层土壤团聚体组成表现出较为一致的规律,即随着团聚体粒径的降低,团聚体所占比例先升高后降低再升高(灌丛 0~10 cm 土层除外),并且以 5~2 mm 粒径范围团聚体所占比例最高(表 1),0.5~0.25 mm 粒径范围团聚体所占比例最低。相同土层各粒径范围团聚体所占比例差异均显著。土壤 >0.25 mm 水稳性团聚体的数量、团聚体平均重量直径 MWD 是评价土壤团聚体水稳性的常用方法^[17-18]。MWD 与水稳性团聚体含量一样,也

可以反映土壤的结构稳定性,通常,土壤团聚体的 >0.25 mm 水稳性团聚体的数量越多,MWD 的值越大,表示团聚体的平均粒径团聚度越高,土壤结构越稳定,土壤抗侵蚀能力越强^[2]。两种土地利用方式各土层深度中 >0.25 mm 粒径范围团聚体数量均较高,均占总团聚体的 83% 以上(表 1),并且各土层中差别不大。灌丛和林地土壤团聚体 MWD,平均值分别为 2.81 和 2.71,大于华北平原土壤团聚体 MWD (0.32)^[19] 和黄土高原土壤 (0.58)^[20]。说明岩溶区土壤具有较强的结构稳定性和抗蚀能力。

表 1 土壤团聚体组成特征/%

Table 1 The composition of water-stable soil aggregates

| 土地 利用 | 土层深度 /cm | 团聚体粒径范围 | | | | | | MWD |
|----------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|------|
| | | >5 mm | 5~2 mm | 2~1 mm | 1~0.5 mm | 0.5~0.25 mm | <0.25 mm | |
| 灌丛 | 0~10 | 30.08±1.10 a | 21.80±1.29 b | 15.12±1.23 c | 8.17±0.54 d | 4.83±0.81 d | 19.99±1.49 b | 3.35 |
| | 10~20 | 15.33±2.98 a | 27.50±1.25 b | 17.68±0.82 a | 10.63±0.31 c | 6.59±0.45 c | 18.94±1.25 a | 2.51 |
| | 20~30 | 12.32±0.27 a | 34.03±2.30 b | 21.27±1.18 c | 11.27±0.87 a | 7.27±0.65 d | 13.63±1.18 a | 2.56 |
| 林地 | 0~10 | 17.27±1.29 a | 29.97±1.44 b | 18.06±0.78 a | 13.02±0.75 c | 7.92±0.76 d | 13.66±1.56 c | 2.76 |
| | 10~20 | 20.30±0.62 a | 35.69±0.73 b | 16.94±0.42 c | 9.25±0.26 d | 5.79±0.60 e | 12.03±1.44 f | 3.13 |
| | 20~30 | 5.08±0.72 a | 40.53±0.45 b | 21.71±1.31 c | 11.24±0.66 d | 6.85±0.37 a | 14.61±1.20 e | 2.25 |

注:同一土层不同字母代表不同团聚体粒径范围组成有显著性差异(P<0.05)。

2.3 土壤团聚体中有机碳含量特征

土壤团聚体中有机碳含量见表 2,灌丛和林地土壤团聚体中有机碳含量总体上均表现为随着土层深度的增加逐渐下降,这种结果符合整体土壤剖面有机碳变化趋势。而在不同土层深度随着团聚体粒径范

围的变化则有机碳含量的变化规律则不同,比如灌丛在 0~10 cm 和 20~30 cm 土层深度随着团聚体粒径范围的降低土壤有机碳含量表现为先降低后升高的“V”字形变化;在 10~20 cm 土层深度随着团聚体粒径范围的降低土壤有机碳含量则表现为先升高后降

表2 团聚体中有机碳含量

Table 2 Soil organic carbon in soil aggregates

| 土层深度 /cm | 团聚体粒径 级别/mm | 有机碳含量(平均值±标准差)/g/kg | |
|-------------|----------------|---------------------|--------------|
| | | 灌丛 | 林地 |
| 0~10 | >5 | 37.57±0.31 ab | 36.83±0.18 a |
| | 5~2 | 37.50±0.39 a | 33.23±0.29 b |
| | 2~1 | 37.37±0.50 a | 29.45±0.21 c |
| | 1~0.5 | 37.75±0.23 ab | 31.91±0.25 d |
| | 0.5~0.25 | 37.79±0.19 ab | 34.24±0.56 e |
| | <0.25 | 38.20±0.31 b | 33.25±0.69 b |
| | 平均值 | 37.70±0.39 | 33.15±2.33 |
| 10~20 | >5 | 22.94±0.04 a | 21.50±0.13 a |
| | 5~2 | 23.15±0.11 b | 22.64±0.36 b |
| | 2~1 | 23.04±0.08 ab | 23.00±0.17 b |
| | 1~0.5 | 22.93±0.07 a | 23.45±0.10 c |
| | 0.5~0.25 | 23.56±0.02 c | 23.54±0.12 c |
| | <0.25 | 23.33±0.07 d | 23.50±0.38 c |
| | 平均值 | 23.16±0.24 | 22.94±0.77 |
| 20~30 | >5 | 19.12±0.05 a | 19.70±1.20 a |
| | 5~2 | 18.96±0.03 b | 22.61±0.54 b |
| | 2~1 | 19.40±0.05 c | 23.21±0.28 b |
| | 1~0.5 | 19.51±0.08 cd | 21.35±0.14 c |
| | 0.5~0.25 | 19.56±0.07 d | 22.94±0.22 b |
| | <0.25 | 19.79±0.14 e | 23.09±0.49 b |
| | 平均值 | 19.39±0.29 | 22.15±1.39 |

注:同一土地利用方式同一土层不同字母代表有机碳含量有显著性差异($P<0.05$)。

低又升高再降低的双峰趋势;并且在0~10 cm 土层深度各粒径团聚体中有机碳差异不显著,而在10~20 cm 和20~30 cm 土层深度则差异性较显著($P<0.05$)。

林地在0~10 cm 土层深度随着团聚体粒径范围的降低土壤有机碳含量则表现为先降低后升高又降低的趋势;10~20 cm 土层深度随着团聚体粒径范围的降低土壤有机碳含量则逐渐升高;在20~30 cm 土层深度则与0~10 cm 土层深度表现为完全相反的趋势,即随着团聚体粒径范围的降低土壤有机碳含量则表现为先升高后降低又升高。总体上三个土层深度内各团聚体中有机碳差异均较为显著。

2.4 团聚体中腐殖质组成

对于团聚体中土壤腐殖质,总体上,无论是灌丛还是林地,团聚体中胡敏酸和富里酸均比全土小,尤其是林地与全土相比,团聚体中胡敏酸和富里酸含量下降更多。林地总体的趋势为胡敏酸在各粒径中的含量在10~20 cm 土层中最高(图2),而富里酸在各粒径中的含量为0~10 cm 土层深度中为最大。胡敏酸和富里酸在各土层随着团聚体粒径范围的减小均无一致的规律性;比如胡敏酸含量在0~10 cm 土层深度中为2~1 mm 粒径中最大,而其它粒径中差别不大;而在10~20 cm 和20~30 cm 土层中则基本表现为随着团聚体粒径范围的减小而逐渐增大。而富里酸含量则表现为在0~10 cm 和10~20 cm 土层中随着团聚体粒径范围的减小先升高再降低而后又升高的趋势;而在20~30 cm 土层中则相反。

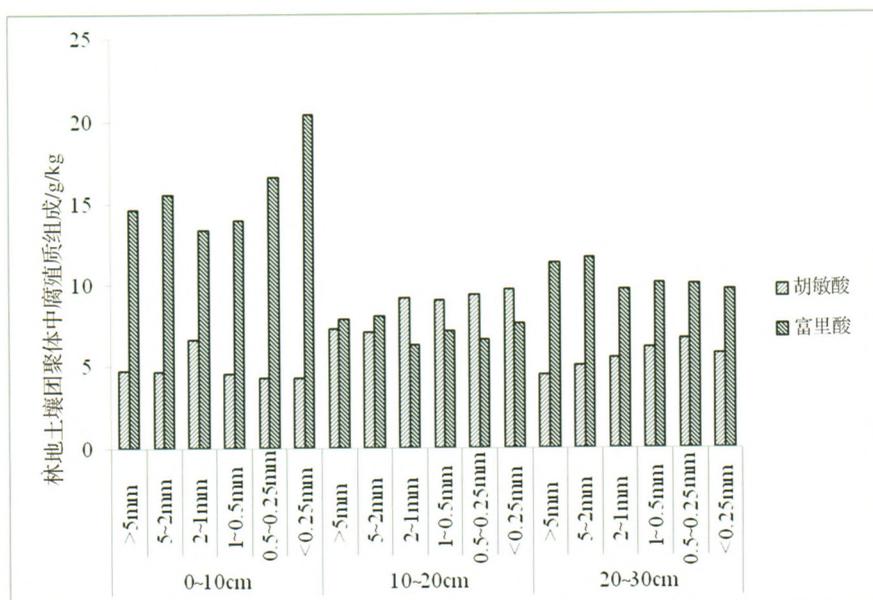


图2 林地土壤团聚体腐殖质组分含量

Fig. 2 The contents of humus in soil aggregate of forest

灌丛各团聚体中的各腐殖质组分含量总体上表现为 0~10 cm 土层中最高(图 3),胡敏酸在各土层基本上表现为随着团聚体粒径的降低其含量呈现先升高后降低再升高又降低的“双峰”趋势,即在 2~1 mm 和 0.5~0.25 mm 粒径范围内含量最高;富里酸在各土层中随着团聚体粒径范围的降低表现规律不一致,但基本表现为在 2~1 mm 粒径范围内最小。

尽管各腐殖质组分随着团聚体粒径范围的减小在两种自然植被上均无明显一致的规律,但胡敏酸和富里酸总量则基本表现为随着团聚体粒径范围的减小而逐渐升高,即在<0.25 mm 粒径范围团聚体中最大。

对于 HA/FA(图 4),灌丛各土层各团聚体中除 20~30 cm 土层中<0.25 mm 团聚体中的 HA/FA 为 1.13,大于 1 之外,其余各土层各团聚体中的 HA/

FA 均小于 1;具体为:0~10 cm 土层各团聚体中 HA/FA 在 0.54~0.71 之间,平均为 0.64 ± 0.03 ;10~20 cm 土层各团聚体中 HA/FA 在 0.45~0.77 之间,平均为 0.60 ± 0.05 ;20~30 cm 土层各团聚体中 HA/FA 在 0.62~1.13 之间,平均为 0.85 ± 0.08 ;并且 0~10 cm 和 10~20 cm 土层团聚体中差异不显著($P>0.05$),与 20~30 cm 土层团聚体中的 HA/FA 差异显著($P<0.05$)。而林地各土层团聚体中的 HA/FA 则相对复杂,0~10 cm 土层各团聚体中 HA/FA 在 0.21~0.50 之间,平均为 0.32 ± 0.04 ;10~20 cm 土层各团聚体中 HA/FA 在 0.88~1.44 之间,平均为 1.20 ± 0.10 ;20~30 cm 土层各团聚体中 HA/FA 在 0.39~0.67 之间,平均为 0.54 ± 0.04 ;并且各土层间团聚体中的 HA/FA 差异显著($P<0.05$)。

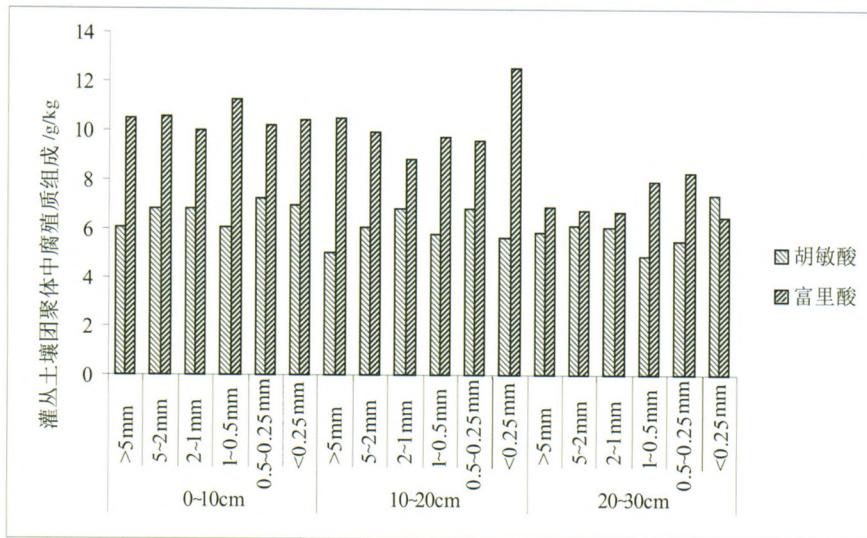


图 3 灌丛土壤团聚体腐殖质组分含量

Fig. 3 The contents of humus in soil aggregate of shrub

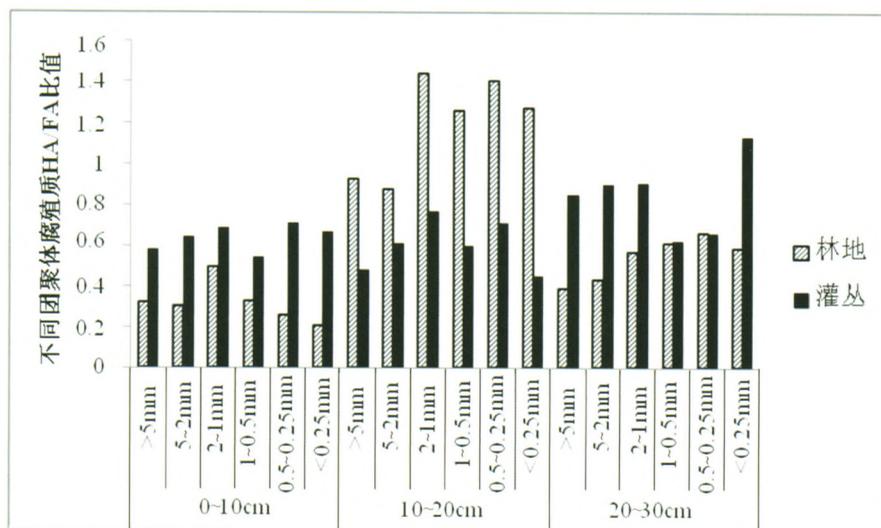


图 4 不同粒径团聚体中 HA/FA 比值

Fig. 4 HA/FA ratio of humus in different particle-size aggregate

3 讨论

3.1 土壤团聚体中腐殖质总体特征

研究区两种土地利用方式土壤团聚体中腐殖质组分含量相对较高,比窦森等^[21]黑土不同团聚体中、贾重建等^[22]在广东省内第四纪红色黏土、玄武岩和花岗岩三种母质发育的土壤的胡敏酸和富里酸含量均要高很多,甚至高出一个数量级。这可能是由于岩溶区石灰土土壤的微碱性反应和 Ca^{2+} 的存在对腐殖质的形成过程产生影响^[23],土壤腐殖质分解速率慢不完全是其化学结构的复杂,微生物难以利用,另一重要原因是由于腐殖质与金属离子或者土壤胶体的紧密结合,这类复合体的形成,对腐殖质产生了物理保护^[24]。另外,石灰土的土壤环境有利于一切微生物的活动,有利于腐殖化过程的进行。因此,岩溶区石灰土中腐殖质含量相对较高。

腐殖质是由芳香族多聚体、多糖、氨基酸、糖醛酸多聚体等缩合而成的一类混合物^[24],其中以胡敏酸与富里酸为主。胡敏酸比富里酸的酸度小,呈微酸性,吸收容量较高,它的一价盐类溶于水,二价和三价盐类不溶于水;富里酸呈强酸性,移动性大,吸收性比胡敏酸低,它的一价、二价、三价盐类均溶于水^[25]。这可能就是本研究中水稳性团聚体由于浸泡过夜之后才进行湿筛分离,造成溶于水的那部分胡敏酸和富里酸损失掉,而使得团聚体中胡敏酸和富里酸含量均较全土小的原因。

另外,在本研究中,两种自然植被土壤各土层中和各团聚体中 HA/FA 基本上表现为小于 1,这与我国北方大多数土壤,以胡敏酸为主, $\text{HA/FA} > 1$ ^[21],而南方土壤中,腐殖酸一般以富里酸占优势, $\text{HA/FA} < 1$ 的结论相一致^[2]。造成这种结果的原因是,南方温度相对较高,湿度较大,植被覆盖度大,微生物降解作用强所致^[2]。

3.2 土壤团聚体中腐殖质变化特征

受土壤物理性状和生物活性的影响,土壤有机碳在不同粒径团聚体中的含量分布不同。许多研究表明,大团聚体较微团聚体含有更多的碳,即随着粒级的减小,团聚体全碳含量逐渐降低^[26-27],但本研究的两种植被下土壤团聚体中的有机碳随着粒径范围的变化趋势较为复杂,并且不同的土层深度范围内变化也不尽一致,尽管如此,灌丛土壤团聚体中的有机碳

含量在团聚体中的最大值均出现在较小粒径中,比如 $< 0.25 \text{ mm}$ 和 $0.5 \sim 0.25 \text{ mm}$ 团聚体中。这与前人的研究结果不同。例如李恋卿等^[28]对红壤地区有机碳在团聚体中的分布研究发现, $< 0.002 \text{ mm}$ 和 $> 2 \text{ mm}$ 的团聚体中有机碳含量较高。而赵世伟^[29]对黄土高原土壤团聚体有机碳的研究发现,土壤团聚体有机碳含量随着团聚体粒径的增加而增加。李凯等^[30]通过对不同施肥条件下黑土中的团聚体中腐殖物质组成进行研究发现各粒级团聚体中腐殖物质组分以胡敏素的含量最高。随粒级的增加腐殖物质各组分含量没有明显的变化,并且团聚体与腐殖物质各组分富集率之间的分选作用明显,表现为随粒级的增加而增加。Bongiovanni 等^[10]通过对大团聚体和微团聚体中腐殖物质组成的研究表明,大团聚体和微团聚体中均表现为单位质量胡敏酸的含量大于富里酸,且胡敏酸和富里酸含量为大团聚体 $>$ 微团聚体。窦森等^[31]对微团聚体细分为 $250 \sim 50 \mu\text{m}$ 、 $50 \sim 10 \mu\text{m}$ 、 $10 \sim 5 \mu\text{m}$ 和 $< 5 \mu\text{m}$ 后发现各粒级团聚体中富里酸和胡敏酸含量随粒级的增大而减少。

除环境条件和植被外,影响腐殖质稳定性的一个重要因素是土壤质地,土壤粘粒和金属离子对腐殖质的物理保护比腐殖质的化学结构更重要^[24]。而岩溶区石灰土由于现代岩溶作用,碳酸盐岩风化溶蚀存留的成土酸不溶物多为粘土成分,使得石灰土质地粘重^[16]。并且石灰土中的钙主要以可溶态为主^[32-33],表明岩溶区土壤中钙具有较高的活度。但无论是钙的作用还是土壤粘粒的作用在石灰土中都较为复杂,这可能就是土壤团聚体中腐殖质组分随着粒径范围的变化而无明显规律的原因之一。

4 结论

(1) 研究区两种自然植被下土壤团聚体中腐殖质组分含量均相对较高,可能是由于岩溶区石灰土土壤的微碱性反应和 Ca^{2+} 的存在对腐殖质的形成过程产生影响,腐殖质与金属离子或者土壤胶体的紧密结合,这类复合体的形成,对腐殖质产生了物理保护。

(2) 两种土地利用方式团聚体中胡敏酸和富里酸均比全土小。这可能是由于胡敏酸和富里酸中有溶于水的成分,使得在湿筛分离团聚体的过程中那部分胡敏酸和富里酸损失掉。而在分离团聚体的过程中

损失的量及损失的组分需要进一步的研究。

(3)两种植被下土壤团聚体中的腐殖质组分随着粒径范围的变化趋势均较为复杂,并且不同的土层深度范围内变化也不尽一致,尽管如此,胡敏酸和富里酸总量则基本表现为随着团聚体粒径范围的减小而逐渐升高,即在 $<0.25\text{ mm}$ 粒径范围团聚体中最大。

致谢:感谢黄中经、刘芝灵等在野外采样和室内实验中给予的帮助!

参考文献

- [1] 武春媛,李芳柏,周顺桂. 腐殖质呼吸作用及其生态学意义[J]. 生态学报,2009,29(3):1535-1542.
- [2] 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.
- [3] 区惠平,何明菊,黄景,等. 稻田免耕和稻草还田对土壤腐殖质和微生物活性的影响[J]. 生态学报,2010,30(24):6812-6820.
- [4] 文倩,李培培,林启美,等. 半干旱地区不同土地利用方式下土壤团聚体的微生物量属性[J]. 生态学报,2014,34(24):7403-7410.
- [5] 刘满强,胡锋,陈小云. 土壤有机碳稳定机制研究进展[J]. 生态学报,2007,(6):2642-2650.
- [6] 陈恩凤,关连珠,汪景宽,等. 土壤特征微团聚体的组成比例与肥力评价[J]. 土壤学报,2001,(1):49-53.
- [7] 谭文峰,朱志锋,刘凡,等. 江汉平原不同土地利用方式下土壤团聚体中有机碳的分布与积累特点[J]. 自然资源学报,2006,21(6):973-980.
- [8] Oades J, Waters A. Aggregate hierarchy in soils[J]. Soil Research,1991,29(6):815-828.
- [9] Golchin A, Baldock J A, Oades J M. A model linking organic matter decomposition, chemistry and aggregate dynamics[J]. Lal, R Kimble, JM; Follett, RF & Stewart, BA (Eds); Soil processes and the carbon cycle CRC press, Inc, Boca Raton, FL, 1998,245-266.
- [10] Bongiovanni M D, Lobartini J C. Particulate organic matter, carbohydrate, humic acid contents in soil macro-and microaggregates as affected by cultivation[J]. Geoderma, 2006, 136(3):660-665.
- [11] 窦森,李凯,关松. 土壤团聚体中有机质研究进展[J]. 土壤学报,2011,(2):412-418.
- [12] 潘根兴,周萍,李恋卿,等. 固碳土壤学的核心科学问题与研究进展[J]. 土壤学报,2007,44(2):327-337.
- [13] 李娟,廖洪凯,龙健,等. 喀斯特山区土地利用对土壤团聚体有机碳和活性有机碳特征的影响[J]. 生态学报,2013,33(7):2147-2156.
- [14] 魏亚伟,苏以荣,陈香碧,等. 桂西北喀斯特土壤对生态系统退化的响应[J]. 应用生态学报,2010,21(5):1308-1314.
- [15] 陈佳,陈洪松,冯腾,等. 桂西北喀斯特地区不同土地利用类型土壤抗蚀性研究[J]. 中国生态农业学报,2012,20(1):105-110.
- [16] 曹建华,袁道先,潘根兴,等. 岩溶生态系统中的土壤[J]. 地球科学进展,2003,18(1):37-44.
- [17] 杨慧,张连凯,于爽,等. 桂林毛村岩溶区与碎屑岩区不同土地利用方式对土壤水稳性团聚体特征的影响[J]. 中国岩溶,2012,31(3):265-271.
- [18] 苏静,赵世伟. 土壤团聚体稳定性评价方法比较[J]. 水土保持通报,2009,29(5):114-117.
- [19] 周虎,吕昭忠,杨志臣,等. 保护性耕作对华北平原土壤团聚体特征的影响[J]. 中国农业科学,2007,40(9):1973-1979.
- [20] 杨如萍,郭贤仕,吕军峰,等. 不同耕作和种植模式对土壤团聚体分布及稳定性的影响[J]. 水土保持学报,2010,24(1):252-256.
- [21] 窦森,郝翔翔. 黑土团聚体与颗粒中碳、氮含量及腐殖质组成的比较[J]. 中国农业科学,2013,(5):970-977.
- [22] 贾重建,刘红宜,卢瑛,等. 土地利用方式对土壤有机碳和团聚体组分特征的影响[J]. 热带地理,2014,34(5):681-689.
- [23] 赵斌军,文启孝. 石灰性母质对土壤腐殖质组成和性质的影响[J]. 土壤学报,1988,25(3):243-251.
- [24] 黄昌勇,徐建明. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2000:38.
- [25] 窦森. 土壤有机质[M]. 北京:科学出版社,2010:83-85.
- [26] 刘晓利,何园球,李成亮,等. 不同利用方式旱地红壤水稳性团聚体及其碳、氮、磷分布特征[J]. 土壤学报,2009,46(2):255-262.
- [27] 郝翔翔,窦森,安丰华,等. 不同利用方式下土壤团聚体腐殖质组成及胡敏酸结构特征[J]. 水土保持学报,2010,24(5):248-252.
- [28] 李恋卿,潘根兴,张旭辉. 退化红壤植被恢复中表层土壤微团聚体及其有机碳的分布变化[J]. 土壤通报,2000,31(5):193-195.
- [29] 赵世伟. 黄土高原子午岭植被恢复下土壤有机碳—结构—水分环境演变特征[D]. 西北农林科技大学,2012.
- [30] 李凯,窦森,韩晓增,等. 长期施肥对黑土团聚体中腐殖物质组成的影响[J]. 土壤学报,2010,(3):579-583.
- [31] 窦森,张继宏,须湘成,等. 棕壤不同粒级微团聚体中有机质特性的研究[J]. 土壤通报,1992,23(2):52-54.
- [32] YANG H, LIANG J H, CHEN J R, et al. Soil calcium speciation at different geomorphological positions in the Yaji karst experimental site in Guilin, China[J]. Journal of Resources and Ecology, 2015, 6(4):224-229.
- [33] 黄芬,胡刚,涂春燕,等. 岩溶区不同土地利用类型土壤钙形态分布特征[J]. 南方农业学报,2015,46(9):1574-1578.

A preliminary study on soil humus in soil aggregates of natural vegetation in karst area, Maocun, Guilin

YANG Hui, BAI Bing, XIE Yin-cai, CAO Jian-hua

(Institute of Karst Geology, CAGS/Karst Dynamics Laboratory, MLR & GZAR/ The International Research

Center on Karst, under the Auspices of UNESCO, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract To explore the relationship between physical protection and chemical protection on soil organic carbon is helpful to reveal the mechanism of soil carbon sequestration and fertility. It could also ascertain the contribution of different components of soil aggregates, humic substances in soil carbon sequestration and soil fertility. The content of humus in soil aggregate of natural vegetation in karst area was studied. The results showed that: (1) In general, the content of soil organic carbon decreased with the increase of soil depth, and the variation of organic carbon content is different at soil depths with variation of aggregate size. (2) The contents of humic and fulvic acids in the soil aggregates are lower than that in mass soil. This may be because the soluble components of humic and fulvic acids get lost in sieving aggregates. (3) The decrease of humus content along with the soil aggregate size in the two types of natural vegetation not obvious. However the total content of humic and fulvic acids gradually increase along with the decrease of soil aggregate size, that is, the maximum content of humus is in those soils with aggregate size of less than 0.25mm. (4) HA/FA is less than 1 in both the mass soil and the aggregate of two kinds of natural vegetation, which is mainly because of the relatively high temperature, high humidity, thick vegetation coverage, strong microbial degradation of the study area.

Key words karst area, soil aggregate, humus, soil organic carbon, natural vegetation

(编辑 吴华英)