

不同土地利用方式对岷江流域土壤团聚体 稳定性及有机碳的影响

胡尧, 李懿, 侯雨乐

(阿坝师范学院 资源与环境学院, 四川 汶川 623002)

摘要:采用湿筛法测量了岷江流域不同土地利用方式下不同土层(0—10, 10—20, 20—30 cm)土壤大团聚体(>2 mm)、中间团聚体(0.25~2 mm)、微团聚体($53\ \mu\text{m}\sim 0.25$ mm)以及粉+黏团聚体($<53\ \mu\text{m}$)的质量分数及各粒径团聚体中的有机碳含量,并探讨了各粒径土壤团聚体的有机碳储量。结果表明,土地利用方式对土壤团聚体稳定性及其有机碳具有重要影响;土壤养分均呈现出一致性规律,大致表现为撂荒地 $>$ 次生林 $>$ 人工林 $>$ 灌草丛 $>$ 坡耕地,土壤全磷差异并不显著($p>0.05$);林地的开垦行为会导致大团聚体的破碎化,灌草丛及坡耕地 >0.25 mm的大团聚体含量较林地低,土壤结构趋于恶化;而坡耕地闲置为撂荒地后,则会促使粉+黏团聚体向粒径大的微团聚体及中间团聚体转化,使土壤结构趋于改善,在0—30 cm土层内,灌草丛及坡耕地土壤颗粒的MWD(平均质量直径)和GMD(几何平均直径)值均显著低于林地和撂荒地($p<0.05$),坡耕地撂荒后,MWD和GMD值均显著升高($p<0.05$),表明林地开垦为坡耕地导致土壤团聚体的稳定性降低,而坡耕地弃耕撂荒会增强团聚体的稳定性,提高土壤抵抗外力破坏的能力。不同土地利用方式下各粒径土壤团聚体有机碳含量均随土层深度的增加而降低。在0—30 cm土层深度内,不同土地利用方式下各粒径土壤团聚体有机碳储量表现为:大团聚体有机碳储量为林地 $>$ 撂荒地 $>$ 灌草丛 $>$ 坡耕地,中间团聚体有机碳储量为撂荒地 $>$ 林地 $>$ 灌草丛 $>$ 坡耕地,微团聚体有机碳储量为撂荒地 $>$ 林地 $>$ 灌草丛 $>$ 坡耕地;粉+黏团聚体有机碳储量为撂荒地 $>$ 林地 $>$ 灌草丛 $>$ 坡耕地。各粒径土壤团聚体内有机碳储量均为林地和撂荒地高于果园和坡耕地,表明将林地开垦为坡耕地后,将导致各团聚体组分内有机碳的损失,而坡耕地撂荒则有助于土壤有机碳的恢复和截存;林地和撂荒地土壤有机碳主要蓄积在中间团聚体内,而坡耕地则主要蓄积在粉+黏团聚体内,表明在土地利用变化过程中,粒径较大的团聚体有机碳不稳定,更容易发生变化。

关键词:岷江流域;土地利用方式;土壤团聚体;土壤有机碳

中图分类号:S152

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)04-0022-08

Effects of Land Use Types on Stability and Organic Carbon of Soil Aggregates in Minjiang River Valley

HU Yao, LI Yi, HOU Yule

(College of Resources and Environment, Aba Teachers College, Wenchuan, Sichuan 623002, China)

Abstract: In order to study the effect of land use type on stability and organic carbon of soil aggregates in Minjiang River Valley, we selected five land use types of soils, which are abandoned land, secondary forest, scrub-grassland, artificial forest and sloping farmland abandoned land, and then we got the proportions of large macroaggregates (>2 mm), small macroaggregates (0.25~2 mm), microaggregates ($53\ \mu\text{m}\sim 0.25$ mm) and silt+clay ($<53\ \mu\text{m}$) by wet sieving method, and measured the content of organic carbon in each aggregate fraction in 0—30 cm soil depth and calculated the total content of organic carbon of all aggregates fraction in each soil. The results showed that the soil nutrients of these land use types had the same change rule, while the soil phosphorus had no significant difference in these land use types ($p>0.05$); reclamation of woodland could lead to fragmentation of macroaggregates and deterioration of soil structure, respectively;

收稿日期:2016-10-18

修回日期:2016-11-14

资助项目:四川省教育厅一般规划项目“岷江中上游河谷不同土地利用方式对土壤微环境的影响研究”(18ZB0004);阿坝师范学院规划项目“岷江流域土壤微环境对不同土地利用方式的响应研究”(ASB17-06)

第一作者:胡尧(1982—),男,四川彭州人,硕士,副教授,主要从事西南区域地理研究。E-mail:huyao_82@163.com

changing the sloping farmland to abandoned land could lead to the conversion of soil fraction from silt + clay to large macroaggregates and small macroaggregates, which could improve the soil structure, MWD (mean weight diameter) and GMD (geometric mean diameter) are important indicators of evaluating the stability of soil aggregates. We found that the MWD and GMD in 0—30 cm soil depth in sloping farmland were significantly lower than those in woodland ($p < 0.05$), after changing the sloping farmland to abandoned land, the MWD and GMD increased significantly ($p < 0.05$), which indicated that reclamation of woodland could lead to the decrease of stability of soil aggregates. However, after changing the sloping farmland to abandoned land could enhance the stability of soil aggregates, and improve the ability of soil to resist external damage. The organic carbon content in each soil aggregate of four land use types decreased with the increase of soil depth. In soil depth of 0—30 cm, the storage of organic carbon in large macroaggregates in each soil decreased in order: abandoned land > forest > scrub-grassland > sloping farmland, and abandoned land > forest > scrub-grassland > sloping farmland in small macroaggregates, and abandoned land > forest > scrub-grassland > sloping farmland in microaggregates and in silt and clay fraction. Storage of organic carbon in each aggregate in the soils of woodland and abandoned land were higher than those in the soils of sloping farmland, which indicated that reclamation of woodland could lead to a loss of organic carbon in each soil aggregate fraction, changing the sloping farmland to abandoned land could restore and sequester the soil organic carbon. In addition, it showed that most organic carbon accumulated in small macroaggregate in soils of woodland and abandoned land, while it was sequestered in silt and clay in soils of sloping farmland, indicating that organic carbon in larger aggregates is unstable and is easier to convert during the land use change.

Keywords: Minjiang River Valley; land use type; soil aggregates; soil organic carbon

土壤团聚体作为土壤的重要组成部分,一方面通过稳定土壤结构,减少土壤的水土流失;另一方面,通过保护土壤中的有机碳,提高土壤肥力与质量,对土壤有着重要的作用,土壤团聚体稳定性已被广泛认为是土壤质量或土壤健康的一个关键指标^[1-2]。对于土壤团聚体的分类,现在大多以湿筛法进行,一般以 $250 \mu\text{m}$ 为界线将团聚体分为大团聚体和微团聚体类,其中前者可分为 $> 2 \text{ mm}$ 和 $0.25 \sim 2 \text{ mm}$,后者可分为 $53 \mu\text{m} \sim 0.25 \text{ mm}$ 及 $< 53 \mu\text{m}$ ^[3]。不同级别的团聚体对于协调土壤养分的保持与供应、改善孔隙组成、水力学性质和生物学性质具有不同的作用^[4]。近年来国内对土壤团聚体稳定性及其有机碳的研究开展得较多,但主要集中于农田管理措施,包括耕作方式、施肥以及秸秆还田等,而关于土地利用变化对土壤团聚体稳定性及其有机碳的研究报道还相对较少,主要集中于亚热带红壤地区及西北黄土高原地区^[5];已有的研究表明,土地利用方式对土壤团聚体稳定性及其有机碳具有重要影响^[6]。

土地利用是人类活动和自然作用相结合的过程,人为干扰导致土地利用结构类型变化多样^[7];土地利用是人类干预土壤肥力最重要、最直接的活动,通过改变土壤营养循环强度、总量及路径,通过改变土壤的水热条件等从而影响土壤养分的流动与转化,进而

导致土壤肥力变迁^[8]。四川岷江流域位于我国西南山地地区,该区域以紫红壤为主,地貌类型复杂多变,是我国土地利用类型多样化的重要区域,可以分为次生林、人工林、灌草丛、撂荒地和坡耕地等不同类型。随着人口增长和经济的发展,岷江流域中下游人口与土地矛盾越显突出,土地垦殖系数居高不下。合理的土地利用方式是恢复该区土壤肥力、改善土壤质量、实现植被恢复和重建的重要途径,然而这些措施必将对土壤有机碳的积累、循环和平衡产生重要影响。本文探讨不同土地利用方式对岷江流域土壤团聚体有机碳的影响,以期有效的土地管理措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

岷江流域源于岷山南麓,主要支流有黑水河、杂谷脑河、大渡河、马边河,属长江支流水量最大的流域,干流全长 735 km,落差 3 560 m,流域面积 13.3 万 km^2 ,以都江堰市以上为上游,都江堰市至乐山市大渡河汇入处为中游,乐山至宜宾长江汇合处为下游段。其上游河段属峡谷型河流,地形复杂,岭谷相间,两岸耕地、人口分布少;中游和下游经丘陵平原区,地势平坦,两岸耕地、人口分布较多,交通便利工农业发达,为本研究区域。该区具有温带—亚热带气候特点,干流沿江气温

自上游至下游逐渐升高,年平均气温 $5\sim 9^{\circ}\text{C}$,年平均气温为 15°C 左右,年平均气温为 17°C 左右,最低气温为 -4°C 左右,最高气温为 38°C 左右。该区雨季季节变化明显,汛期暴雨频发,尤其集中在6—9月,夏秋两季雨量可占全年的80%以上,自然资源和水能资源十分丰富,广泛分布紫色土,是重要的耕地资源。

1.2 样品采集

根据岷江中游流域特点,在小流域内选取坡耕地、次生林、人工林、灌草丛和撂荒地5种土地类型布设4个水平投影面积 $100\text{ m}\times 100\text{ m}$ 的小区。坡耕地:流域内传统的种植方式,种植有豌豆、蔬菜、烟草等,伴生有紫茎泽兰群落,覆盖度 $<10\%$ 。次生林:封育多年后形成的以大戟科、樟科、壳斗科和茜草科等植物为主的森林群落,覆盖度 $>80\%$ 。人工林:近年来进行流域综合治理,在政策导向下农户将大部分坡耕地进行退耕还林,主要种植马尾松林,林间伴生有灌木、草本以及苔藓等,覆盖度 $50\%\sim 80\%$ 。灌草丛:主要为热性灌草丛,与人工林相邻,以灌木(杜鹃)占优势,草本植物有马兰、三色堇、旱金莲等,覆盖度 $20\%\sim 40\%$;4种土地类型均为红紫壤土。撂荒地:也即废弃的农田,形成了紫茎泽兰的单优群落,植被覆盖度达到 95% 。

在林地、果园、坡耕地和撂荒地上分别选择3个地貌特征相似的样地,其中林地每个样地的面积为 $20\text{ m}\times 20\text{ m}$,果园为 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$,坡耕地和撂荒地均为 $5\text{ m}\times 5\text{ m}$ 。每个样地3个重复,每个采样点重复取5次作为平行,5个平行之间间隔 2 m ,为了保证取样的一致性,所取样的土壤坡度均小于 5° ,利用挖剖面取样法在各采样点分层取 $0\text{—}10, 10\text{—}20, 20\text{—}30\text{ cm}$ 未扰动的原状土样,用保鲜盒带回实验室。所取土壤样品分为两部分,一部分自然风干后测量土壤养分,另一部分原状土为在风干过程中沿自然裂隙掰成直径为 1 cm 左右大小的团聚体。风干后采用Elliot的土壤团聚体湿筛法进行粒径分组:称取 100 g 风干土样,用大约 5 ml 的纯水缓慢浸润过夜,再通过一套3个筛子($2\text{ mm}, 0.25\text{ mm}$ 和 $53\text{ }\mu\text{m}$),在纯水环境中进行湿筛(振幅 3 cm ,频率 $50\text{ 次}/\text{min}$),得到 $>2\text{ mm}, 0.25\sim 2\text{ mm}, 53\text{ }\mu\text{m}\sim 0.25\text{ mm}$ 以及 $<53\text{ }\mu\text{m}$ 这4个粒径组分,可分别称为大团聚体、中间团聚体、微团聚体和粉+黏团聚体,得到的不同级别的团聚体一部分烘干称重,用于计算各组分的质量分数。另一部分风干后,用于测定团聚体组分的有机碳含量。

有机碳采用重铬酸钾—外加热法;全氮采用半微量凯氏定氮法;全磷和速效磷采用 NaHCO_3 浸提—钼锑抗比色法;碱解氮采用 $\text{NaOH}\text{—H}_3\text{BO}_3$ 法;全钾

采用乙酸铵浸提—火焰光度计法。

1.3 数据分析

选取平均质量直径(mean weight diameter, MWD)和几何平均直径(geometric mean diameter, GMD)作为土壤团聚体稳定性的评价指标。其计算公式如下^[9-10]:

$$\text{MWD} = \sum_i^n X_i W_i$$

$$\text{GMD} = \exp[\sum W_i \ln X_i]$$

$$M_{\text{soil}} = \rho_b \times T \times 1000$$

$$T_{\text{add}} = [(M_{\text{soil, equit}} - M_{\text{soil, surf}}) \times 0.0001] / \rho_{\text{b, subsurface}}$$

$$M_{\text{element}} = M_{\text{soil}} \times C_{\text{conc}} \times 0.001$$

式中: n 为粒径分组的组数; X_i 为这一粒径组分的平均直径; W_i 为这一粒径团聚体的质量分数; M_{soil} 为单位面积土壤质量(mg/hm^2); ρ_b 为土壤容重(g/cm^3); T 为土层深度(m); T_{add} 为要达到等质量土壤需要另加的亚表层土层深度(m); $M_{\text{soil, equit}}$ 为最大的土壤质量(Mg/hm^2); $M_{\text{soil, surf}}$ 为其他质量小于 $M_{\text{soil, equit}}$ 的处理的表层土壤质量之和(mg/hm^2); $\rho_{\text{b, subsurface}}$ 为亚表层土壤容重(g/cm^3),在此试验中为 $20\text{—}30\text{ cm}$ 土层的土壤容重; M_{element} 为SOC储量(mg/hm^2); C_{conc} 为有机碳占全土的含量(g/kg),即为某一粒径组分的有机碳含量乘上该粒径组分占全土的质量分数。有机碳单位面积上等质量有机碳储量等于表层土壤有机碳储量加上要达到该土壤质量需要另加的土层深度的有机碳储量。统计分析利用Excel 2003和SPSS 13.00软件对数据进行分析,单因素方差进行分析(one-way ANOVA),显著性分析采用LSD法。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式对土壤养分的影响

不同土地利用方式下土壤养分含量见表1,由表1可知,土壤全氮含量变化范围为 $1.03\sim 1.78\text{ g}/\text{kg}$,基本表现为撂荒地 $>$ 次生林 $>$ 人工林 $>$ 灌草丛 $>$ 坡耕地,其中次生林和人工林差异不显著($p>0.05$),坡耕地最低($p>0.05$);土壤全磷含量变化范围为 $0.98\sim 1.13\text{ g}/\text{kg}$,不同土地利用方式下土壤全磷含量差异均不显著($p>0.05$);土壤全钾变化范围为 $11.69\sim 21.69\text{ g}/\text{kg}$,基本表现为撂荒地 $>$ 次生林 $>$ 人工林 $>$ 灌草丛 $>$ 坡耕地,其中次生林和人工林差异不显著($p>0.05$),其他土地利用方式下土壤全钾含量差异均显著($p<0.05$);土壤碱解氮含量变化范围为 $32.69\sim 534.71\text{ mg}/\text{kg}$,基本表现为撂荒地 $>$ 次生林 $>$ 人工林 $>$ 灌草丛 $>$ 坡耕地,其中撂荒地和人工林差异不显著($p>0.05$),次生林、灌草丛和坡耕地差异均显著($p<0.05$),撂荒地和坡耕地差

异不显著($p>0.05$);土壤速效磷含量变化范围为23.56~34.73 mg/kg,基本表现为撂荒地>次生林>人工林>灌草丛>坡耕地,其中撂荒地和人工林差异不显著($p>0.05$);土壤有效钾含量变化范围在

31.25~53.58 mg/kg,基本表现为撂荒地>次生林>人工林>灌草丛>坡耕地,其中次生林和人工林差异不显著($p>0.05$),其他土地利用方式下土壤有效钾含量差异均显著($p<0.05$)。

表1 不同土地利用方式对土壤养分的影响

土地利用方式	全氮/ (g·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	全钾/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	有效钾/ (mg·kg ⁻¹)
次生林	1.65±0.32a	1.02±0.23a	20.37±3.02a	49.58±5.23b	32.56±2.36ab	47.03±5.14b
人工林	1.62±0.15ab	1.13±0.16a	19.65±2.98ab	53.25±6.12a	33.65±3.15a	46.59±4.56b
灌草丛	1.52±0.26b	1.08±0.19a	16.45±3.14b	42.35±4.59c	29.58±1.98b	40.31±3.89c
坡耕地	1.03±0.38c	0.98±0.25a	13.21±2.16c	32.69±3.89d	23.56±2.78c	31.25±4.54d
撂荒地	1.78±0.41a	1.01±0.18a	21.69±2.47a	54.71±4.21a	34.73±2.03a	53.58±3.57a
<i>p</i>	<0.05	>0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>F</i>	112.91	53.69	89.56	93.17	105.14	97.25

注:不同小写字母表示差异显著($p<0.05$),下表同。

2.2 不同土地利用方式对土壤团聚体组成的影响

不同土地利用方式下土壤各团聚体组成的含量见图1。通过湿筛得到的5种土地利用方式的土壤大团聚体(>2 mm)含量之间存在一定的差异。在0—30 cm土层深度内,表现为次生林和人工林高于灌草丛,高于撂荒地和坡耕地,与坡耕地相比,撂荒地土壤中大团聚体含量并未有显著升高($p>0.05$)。从土壤剖面上看,5种土地利用方式的土壤大团聚体含量随土层深度的增加而显著降低。

由图还可知,不同土地利用方式对土壤中间团聚体(0.25~2 mm)和微团聚体(53 μm~0.25 mm)含量的影响并不明显,各土层上的中间团聚体和微团聚体含量在5种土地利用方式间均未表现出显著性差异。在整个0—30 cm土层,次生林、人工林、灌草丛、撂荒地和坡耕地中间团聚体含量分别为25.89%,31.26%,21.04%,18.95%,21.06%,微团聚体含量分别为15.69%,16.87%,18.23%,17.15%,19.26%。在土壤剖面上,除次生林中间团聚体含量呈现为随土层深度的增加而升高的趋势外,其他土地利用方式下土壤微团聚体含量在土壤剖面上均无显著性变化。

土地利用方式的变化对土壤粉+黏团聚体(<53 μm)含量的影响较为显著,在土壤剖面的各个土层上,坡耕地和撂荒地的粉+黏团聚体含量显著高于其他3种土地利用方式,而次生林和人工林最低。在0—30 cm土层深度内,土壤粉+黏团聚体的含量基本表现为坡耕地和撂荒地显著高于次生林和人工林,将林地垦殖为坡耕地后,土壤粉+黏团聚体含量分别增加了2倍以上,而将坡耕地闲置为撂荒地后,粉+黏团聚体含量则显著下降了12.34%。从土壤剖面上看,不同土地利用方式下的土壤粉+黏团聚体含量随土层深度的增加而升高。

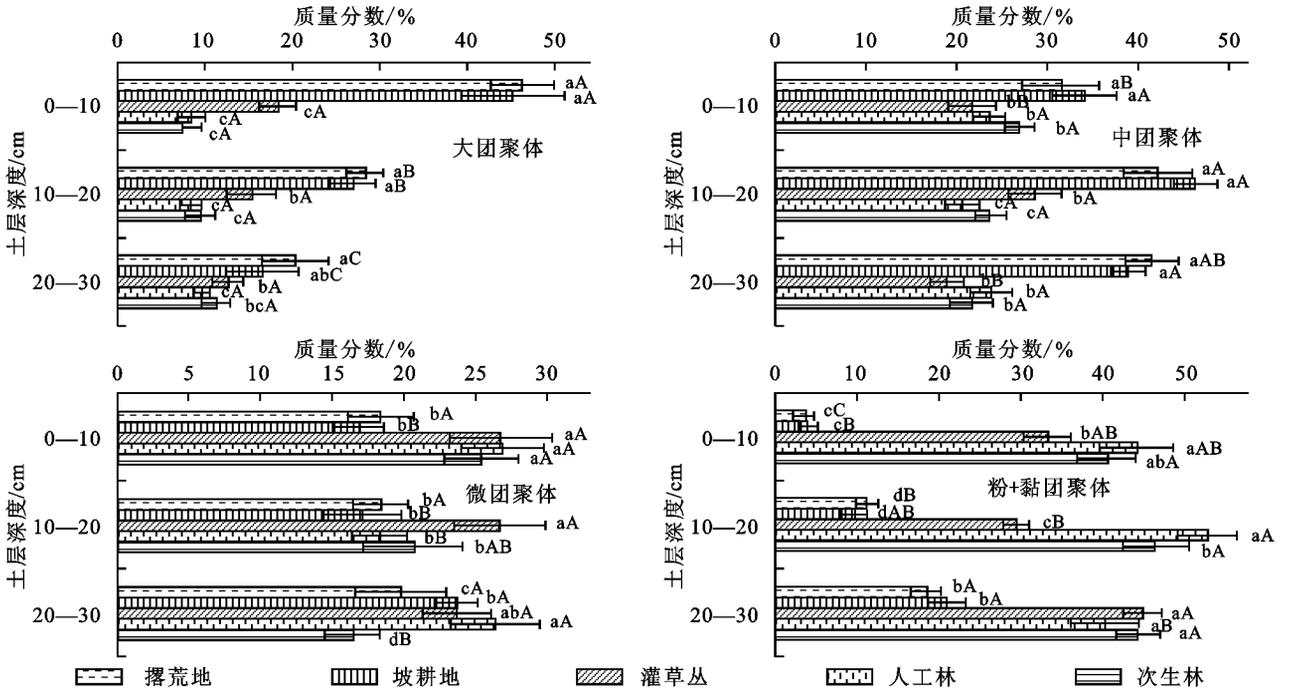
试验数据表明,不同土地利用方式对土壤团聚体组成的影响较为显著。如图2所示,在0—30 cm的土层深度内,在土壤的各粒径团聚体中,次生林和人工林以>0.25 mm的大团聚体为主,占粒径总组成的20%以上;灌草丛以中间团聚体和粉+黏团聚体为主;而坡耕地和撂荒地则以粉+黏团聚体为主,约占粒径总组成的40%。>0.25 mm团聚体被认为是土壤中最好的结构体,称为土壤团粒结构体,是维持土壤结构稳定的基础,其含量越高,土壤结构的稳定性越大。次生林和人工林的开垦行为会导致大团聚体的破碎化,坡耕地>0.25 mm的大团聚体含量均小于林地,与林地相比,下降幅度分别达到47.23%和43.15%,说明林地转化为坡耕地后土壤结构恶化;而坡耕地闲置为撂荒地后,则会促使粉+黏团聚体向粒径大的微团聚体及中间团聚体转化,使土壤结构趋于改善。

2.3 不同土地利用方式对土壤团聚体稳定性的影响

土壤团聚体稳定性表示土壤结构的稳定性,直接或间接影响土壤其他物理化学属性。团聚体平均重量直径(MWD)和几何平均直径(GMD)是反映土壤团聚体稳定性的重要指标,MWD和GMD值越大表示团聚体平均直径团聚度越高,稳定性越强。不同土地利用方式下MWD和GMD见图3。可见,随土层深度的增加,林地土壤团聚体的稳定性逐渐减弱,而坡耕地和撂荒地则逐渐增强,灌草丛在0—10 cm的土壤表层稳定性先有所减弱,而在20—30 cm土层则开始增强。在0—30 cm土层深度的各土层上,次生林和人工林团聚体MWD和GMD值均明显高于其他4种土地利用方式,而在20—30 cm土层,这种差异变小,说明人类活动对土壤团聚体稳定的影响主要集中在0—10 cm的土壤表层。在0—30 cm土层深度内,MWD表现为次生林

和人工林高于坡耕地和撂荒地，GMD 表现为次生林和人工林高于坡耕地和撂荒地。与林地相比，坡耕地和撂荒地的 MWD 和 GMD 值均有显著降低 ($p < 0.05$)；而将坡耕地闲置为撂荒地后，MWD 和 GMD

值均有升高，但差异并不显著 ($p > 0.05$)，由此表明林地开垦为果园和坡耕地导致土壤团聚体的稳定性降低，容易被水分散，而坡耕地弃耕撂荒会增强团聚体的稳定性，提高土壤抵抗外力破坏的能力。



注：不同小写字母表示同一深度不同土地利用方式在 0.05 水平差异显著，不同大写字母表示不同深度同一土地利用方式在 0.05 水平差异显著，下同。

图 1 不同土地利用方式下土壤各粒径团聚体质量分数

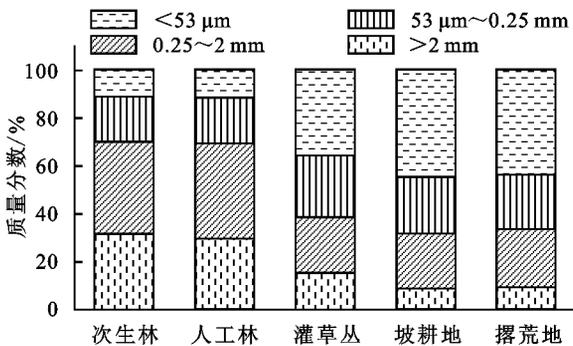


图 2 不同土地利用方式下 0—30 cm 土层各粒径团聚体质量分数平均值

2.4 不同土地利用方式对土壤团聚体有机碳的影响

由图 4 可知，5 种土地利用方式下土壤 > 2 mm

大团聚体内有机碳含量均随土层深度的增加而降低。不同土地利用方式对土壤大团聚体内有机碳含量的影响较为显著，尤其是在 0—10 cm 土层，不同土地利用方式间的差异最为显著；撂荒地各个土层大团聚体的有机碳含量均显著高于其他 4 种土地利用方式，随着土层深度的增加，其他 4 种土地利用方式间的差异减小。在整个 0—30 cm 土层，5 种土地利用方式下大团聚内有机碳含量为撂荒地 > 次生林和人工林 > 灌草丛 > 坡耕地。与林地相比，坡耕地大团聚体有机碳含量减少了约 30%，说明将林地转变为坡耕地后会导致大团聚体内的有机碳含量的降低；而将坡耕地转变为撂荒地后，土壤中大团聚体内的有机碳含量则提高 2 倍左右。

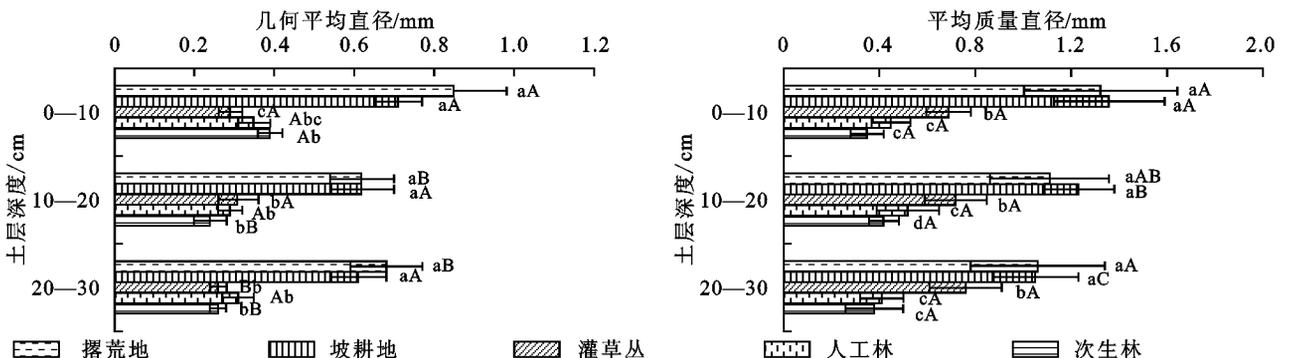


图 3 不同土地利用方式下土壤团聚体平均质量直径和几何平均直径

中间团聚体和微团聚体有机碳含量的土壤剖面分布趋势相似。有机碳含量均随土层深度的增加而降低,其中撂荒地的剖面分布差异最明显。不同土层中间团聚体及微团聚体有机碳含量均为次生林和人工林最高,撂荒地次之;在0—10 cm土层土地利用方式间的差异最显著,随土层深度的增加差异逐渐降低。在0—30 cm土层,中间团聚体有机碳含量为次生林和人工林>撂荒地>灌草丛>坡耕地。微团聚体的有机碳含量则为次生林和人工林>撂荒地>灌草丛>坡耕地。与林地相比,坡耕地中间团聚体和微

团聚体的有机碳含量均有所降低,而坡耕地撂荒后,两种粒径团聚体有机碳含量分别显著增加。

粉+黏团聚体内的有机碳含量也表现出由上到下逐渐降低的趋势,土地利用方式对粉+黏团聚体有机碳含量的影响较为显著,基本上在0—30 cm的所有土层上均为次生林和人工林粉+黏团聚体内的有机碳含量最高,撂荒地和灌草丛次之,坡耕地最低,整个土层深度的平均值为次生林和人工林>撂荒地>灌草丛>坡耕地。坡耕地粉+黏团聚体有机碳含量较林地低,而撂荒地则比坡耕地高。

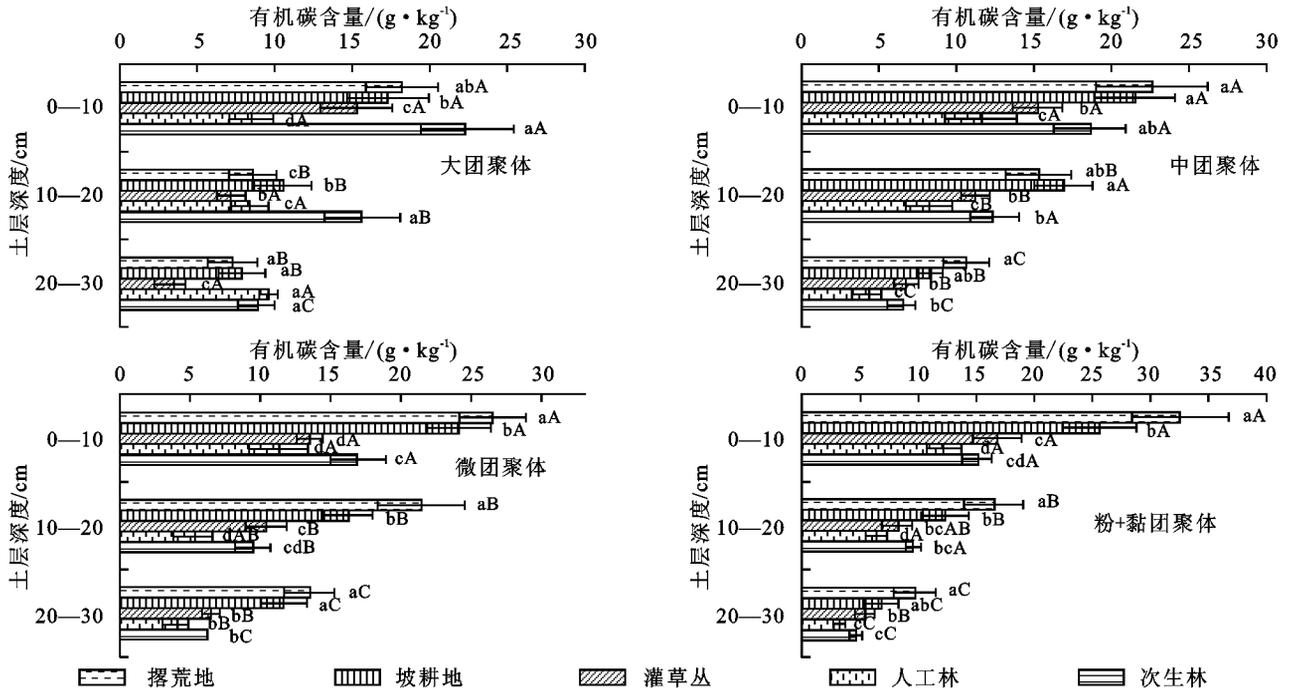


图4 不同土地利用方式下各团聚体有机碳含量

如图5所示,大团聚体有机碳储量为次生林和人工林>灌草丛>坡耕地>撂荒地;中间团聚体有机碳储量为撂荒地>次生林和人工林>灌草丛>坡耕地;微团聚体有机碳储量为撂荒地>次生林和人工林>灌草丛>坡耕地;粉+黏团聚体有机碳储量为撂荒地>次生林和人工林>灌草丛>坡耕地。林地与撂荒地各粒径团聚体内的有机碳含量及储量均显著高于灌草丛和坡耕地,表明将林地开垦为坡耕地后,将导致各团聚体组分内有机碳的损失,不利于土壤有机碳的积累;而坡耕地撂荒则能有效促进土壤各团聚体组分内有机碳的增加,有助于土壤有机碳的恢复和截存。

由图5可以看出,同一土地利用方式下不同粒径团聚体内有机碳储量差异显著。林地(次生林和人工林)和撂荒地土壤有机碳主要分布在中间团聚体内,而灌草丛和坡耕地则均为粉+黏团聚体内有机碳储量最高,大团聚体内最低。表明林地转变为坡耕地后,有机碳损失量随着团聚体粒径的增大而升高:转

变为坡耕地后大团聚体、中间团聚体、微团聚体以及粉+黏团聚体的损失量分别为6.53, 3.25, 5.69, 5.18 mg/hm²,坡耕地撂荒后,大团聚体、中间团聚体、微团聚体以及粉+黏团聚体的增加量有所增加,虽然各粒径团聚体内的有机碳储量均显著增加,但相比之下,>0.25 mm的大团聚体比<0.25 mm的微团聚体增加更快,说明粒径较大的团聚体能截存更多的碳。因此,在土地利用转变过程中,粒径较大的团聚体更容易积累或损失有机碳。

2.5 不同土地利用方式团聚体有机碳与土壤养分的相关关系

不同土地利用方式土壤团聚体有机碳与土壤养分间存在不同的相关关系,表2的结果表明:大团聚体有机碳与全氮和全钾呈极显著的相关性($p < 0.01$),与速效磷呈显著的相关性($p < 0.05$);中间团聚体有机碳与全氮、全钾、速效磷和有效钾呈极显著的相关性($p < 0.01$),与碱解氮呈显著的相关性($p <$

0.05);小团聚体有机碳与碱解氮和速效磷呈显著的相关性($p < 0.01$),与全氮、全钾和有效钾呈显著的相关性($p < 0.05$);粉+黏团聚体有机碳与碱解氮、速效磷和有效钾呈极显著的相关性($p < 0.01$),与全钾呈显著的相关性($p < 0.05$)。由此可知,土壤团聚体有机碳受到土壤养分的影响较大,其中全氮和全钾是影响不同土地利用方式大团聚体有机碳的主要因素,土壤速效养分是影响不同土地利用方式中、微团聚体有机碳的主要因素。

表 2 不同土地利用方式团聚体有机碳与土壤养分的相关分析

项目	粒径	全氮	全磷	全钾	碱解氮	速效磷	有效钾
团聚体有机碳	$>2\text{ mm}$	0.798**	0.325	0.841**	0.358	0.563*	0.503
	0.25~2 mm	0.823**	0.125	0.836**	0.517*	0.712**	0.732**
	$53\ \mu\text{m} \sim 0.25\text{ mm}$	0.523*	0.174	0.587*	0.756**	0.756**	0.652*
	$<53\ \mu\text{m}$	0.436	0.069	0.511*	0.856**	0.899**	0.754**

注:*,**分别表示在0.05,0.01水平上差异显著。

3 讨论与结论

不同土地利用方式对土壤养分及理化性质具有较大影响,土壤养分均呈现出一致性规律。已有研究表明,不同土地利用方式会导致土壤养分的不同,而不同土地利用方式土壤全磷差异并不显著,主要是由于磷素作为一种沉积性元素,其分解作用缓慢,因此其变化范围和空间变异性较低^[11]。不同土地利用方式改变了土壤养分含量,撂荒地和次生林和灌草丛基本没有开垦,生物量以及输入土壤的有机物数量较多,表现出土壤养分含量高于坡耕地,再加上归还土壤的动植物残体和腐殖化物质增加,养分含量最高,坡耕地则受人类活动的影响,地表没有积累的枯枝落叶层,有机碳含量最低^[12]。

土壤有机碳是形成土壤团聚体的重要胶结物质,在土壤团聚体的形成过程中发挥着重要作用。不同土地利用方式显著影响土壤有机碳含量,进而对土壤团聚体稳定性产生间接影响。本研究试验测定发现在0—30 cm的深度内土壤有机碳的平均含量为撂荒地>次生林和人工林>灌草丛>坡耕地。林地转变为坡耕地后, $>0.25\text{ mm}$ 的大团聚体含量有所降低,MWD和GMD值也均有显著降低($p < 0.05$),林地开垦利用后,土壤有机碳含量减少,导致土壤大团聚体分散,从而降低了土壤团聚体的稳定性。有研究认为土壤耕作后大团聚体更容易破裂,耕作优先降低了 $>2\text{ mm}$ 的大团聚体含量。将坡耕地弃耕后,土壤中粉+黏团聚体($<53\ \mu\text{m}$)的含量有所减少,黏合形成了粒径更大的团聚体—微团聚体($53\ \mu\text{m} \sim 0.25$

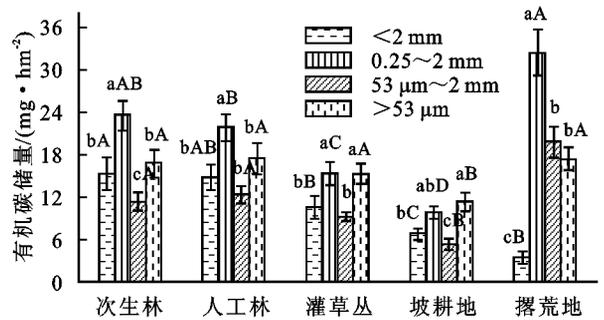


图 5 不同土地利用方式下各团聚体有机碳储量

mm)和中间团聚体(0.25~2 mm),由此使得土壤团聚体的稳定性得到了提高和增强,这与前人的研究结果一致^[13-14]。因此,坡耕地在耕种管理过程中需要进行土壤有机碳的改善和保护,比如在单施化肥的基础上配施有机肥、秸秆还田以及采取保护性耕作措施等,从而提高土壤中大团聚体含量,增强土壤结构的稳定性。相对于林地,坡耕地土壤中有有机碳含量的下降并未达到显著水平, $>0.25\text{ mm}$ 的大团聚体含量以及MWD和GMD值却均显著降低,可能还受根系分泌物的影响。坡耕地地表植被密度小于林地,而且栽培年限也远低于林地,因此其地下根系的数量可能也小于林地。植物通过释放根系分泌物和生长活动对土壤物理性质和微生物产生影响,进而影响土壤团聚化作用,并且植物根系分泌物产生的高分子黏质对土壤颗粒有很强的粘着力,高分子黏胶物质与土壤颗粒相互作用,促进团聚体的形成;坡耕地因为根系分泌物的数量少,土壤中促进团聚作用的黏合物也少,由此形成的大团聚体含量也随之减少,从而导致土壤团聚体稳定性降低。

不同土地利用方式下各粒径团聚体有机碳含量均随土层深度的增加而减少,主要是因为植物残体主要积累在土壤表层,可供微生物维系生命活动的能量充足,从而促进土壤表层的生物活性,包括真菌生长、根和土壤动物区系,从而有助于在各粒径团聚体内部结合形成微粒有机碳。数据分析发现,林地和撂荒地各粒径团聚体有机碳含量及储量均显著高于坡耕地,表明林地的垦殖会造成土壤有机碳的降低,而坡耕地的撂荒则会截存土壤有机碳^[15-16]。林地和撂荒地由

于人类活动的干扰较少,地表的植被凋落物可通过分解补充土壤碳库;而且林木和草本植物根系的转化也是土壤碳的主要来源。坡耕地周围居住的大多为山地农民,由于运输不便以及经济落后等原因,使得坡耕地土壤有机碳的来源比林地少。坡耕地由于常年翻耕,表层土壤松软,水土流失严重,使得土壤中有机碳也随之流失;并且人为翻耕增加了土壤的通透性,加剧了土壤有机碳的矿化;而且由于作物的收获,致使植物中的碳不能还田,这些原因都导致坡耕地不利于土壤有机碳的积累^[17]。本研究发现林地转变为坡耕地后,粒径较大的团聚体内损失的有机碳较多,而且储存有机碳的主要团聚体组分的粒径也随之减小。这种变化符合关于团聚体形成的经典模型^[18],他们认为新鲜输入的有机碳进入土壤后,首先与土壤中粒径较小的微团聚体胶结形成大团聚体,微团聚体再形成于其内部,或有机碳分解,大团聚体破碎后直接形成微团聚体,然后微团聚体在耕作扰动等作用下从大团聚体中释放,而存在于微团聚体中的有机碳由于受到物理保护,所以其稳定性比大团聚体中的新鲜有机碳更高。但本研究中坡耕地向撂荒地的转变与经典模型稍有出入,坡耕地撂荒后,中间团聚体土壤有机碳增加量最大,而大团聚体增加量最小,造成这种现象的原因可能与土地利用变化的时间有关。相关性分析可知,土壤团聚体有机碳受到土壤养分的影响较大,其中全氮和全钾是影响不同土地利用方式大团聚体有机碳的主要因素,土壤速效养分是影响不同土地利用方式中、微团聚体有机碳的主要因素。

参考文献:

- [1] 王清奎,汪思龙. 土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素[J]. 土壤通报,2005,36(3):415-421.
- [2] 卢金伟,李占斌. 土壤团聚体研究进展[J]. 水土保持研究,2002,9(1):81-85.
- [3] 史奕,陈欣,沈善敏. 土壤团聚体的稳定机制及人类活动的影响[J]. 应用生态学报,2002,13(11):1491-1494.
- [4] 窦森,李凯. 土壤团聚体中有机质研究进展土壤团聚体中有机质研究进展[J]. 土壤学报,2011,48(2):412-418.
- [5] 蔡立群,齐鹏,张仁陟. 保护性耕作对麦—豆轮作条件下土壤团聚体组成及有机碳含量的影响[J]. 水土保持学报,2008,22(2):141-145.
- [6] 赵世伟,苏静,吴金水,等. 子午岭植被恢复过程中土壤团聚体有机碳含量的变化[J]. 水土保持学报,2006,20(3):114-117.
- [7] 刘纪远,张增祥. 中国近期土地利用变化的空间格局分析[J]. 中国科学:D辑,2002,32(12):1031-1040.
- [8] 王思远,刘纪远,张增祥,等. 中国土地利用时空特征分析[J]. 地理学报,2010,56(6):631-639.
- [9] 王清奎,汪思龙. 土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素[J]. 土壤通报,2005,36(3):415-421.
- [10] 宇万太,沈善敏,张璐,等. 黑土开垦后水稳性团聚体与土壤养分的关系[J]. 应用生态学报,2004,15(12):2287-2291.
- [11] 郑子成,何淑勤,王永东,等. 不同土地利用方式下土壤团聚体中养分的分布特征[J]. 水土保持学报,2010,24(3):170-174.
- [12] 姜培坤,周国模,钱新标. 侵蚀型红壤植被恢复后土壤养分含量与物理性质的变化[J]. 水土保持学报,2004,18(1):12-14.
- [13] 周虎,吕贻忠,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.
- [14] 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[J]. 生态学报,2006,26(2):364-372.
- [15] 苏静,赵世伟. 植被恢复对土壤团聚体分布及有机碳,全氮含量的影响[J]. 水土保持研究,2005,12(3):44-46.
- [16] 杨长明,欧阳竹,董玉红. 不同施肥模式对潮土有机碳组分及团聚体稳定性的影响[J]. 生态学杂志,2005,24(8):887-892.
- [17] 罗歆,代数,何丙辉,等. 缙云山不同植被类型林下土壤养分含量及物理性质研究[J]. 水土保持学报,2011,25(1):64-69.
- [18] 赵世伟,苏静,吴金水,等. 子午岭植被恢复过程中土壤团聚体有机碳含量的变化[J]. 水土保持学报,2006,20(3):114-117.